



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE LINEÁRNÍCH HODIN S LED DIGITÁLNÍ STUPNICÍ

DESIGN OF LINEAR CLOCK WITH LED DIGITAL SCALE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Javorský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: Dominik Javorský
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce lineárních hodin s LED digitální stupnicí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpravidla existují dvě široce využívaná rozhraní pro měření času. Na jedné straně analogové, které k zobrazení času využívají rotující ručičky s číselníkem. Na druhé straně digitální s přímým výstupem ukazatele času pomocí alfanumerických znaků na displeji. Za předpokladu, že čas plyne lineárně, je však výzvou konstrukce lineárních hodin, které dokážou unikátní cestou zobrazit aktuální čas.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je konstrukce a následná realizace funkčního vzorku lineárních hodin užitím technologie 3D tisku a řízení pomocí Arduino Uno s těmito parametry: LED stupnice s rozsahem 12 hodin a rozlišitelností 5 minut.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- popsat současné konstrukce lineárních hodin,
- definovat vhodné parametry pro konstrukční řešení,
- navrhnout varianty konstrukčních uspořádání,
- zpracovat výkresovou dokumentaci vybrané varianty včetně řídicího softwaru,
- realizovat funkční vzorek pomocí 3D tisku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

BROWN, H. T. 507 Mechanical Movements: Mechanisms and Devices. 18th Edition. Wexford College Press, 2010. ISBN 978-1-60386-311-7.

MOLINE, D., J. WAGNER a E. VOLK. Model of a mechanical clock escapement. American Journal of Physics. 2012, 80(7), 599-606. DOI: 10.1119/1.4705517. ISSN 0002-9505.

MAJOR, F. G. Celestial and Mechanical Clocks. The Quantum Beat. New York, NY: Springer New York, 1998, 1-21. DOI: 10.1007/978-1-4757-2923-8_1. ISBN 978-1-4757-2925-2.

RAWLINGS, A. L. The Science of Clocks and Watches. 3rd. Upton, England: British Horological Society, 1993. ISBN 978-0-95096-213-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zoberá návrhom a následnou realizáciou lineárnych hodín s LED digitálnou stupnicou prostredníctvom 3D tlače. Začiatok práce je venovaný popísaniu existujúcich konštrukčných usporiadaní, tiež stručnému prehľadu dnes používaných elektronických komponentov pri tvorbe lineárnych hodín. V nasledujúcej časti sa práca venuje návrhu a následnej realizácii lineárnych hodín. Výstupom práce je funkčný model, ktorý spĺňa požiadavky stupnice s rozsahom 12 hodín a rozlíšiteľnosťou 5 minút. Práca obsahuje výkresovú dokumentáciu zostavy, vybraných súčastí a softvér prostredníctvom ktorého sú lineárne hodiny riadené.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

lineárne hodiny, 3D tlač, LED dióda, Arduino Uno

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and production of linear clocks with LED digital scale by 3D printing. The beginning of the work gives an overview of existing structural design and also a brief overview of today's electronic components used in the creation of linear clocks. In the following part, the work deals with the design and production of linear clocks. The output of the work is a functional model that satisfy the requirements of scale with a range of 12 hours and a resolution of 5 minutes. The work also contains drawing documentation of the assembly, selected components and software used to control linear clock.

KEYWORDS

linear clock, 3D printing, LED diode, Arduino Uno

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

JAVORSKÝ, Dominik. *Konstrukce lineárních hodin s LED digitální stupnicí*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131957>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D..

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som rád poďakoval vedúcemu mojej bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Petrovi Svobodovi, Ph.D. za jeho čas, cenné rady a trpezlivosť pri tvorbe tejto bakalárskej práce. Ďalej mojej rodine a kamarátom za všetku podporu pri štúdiu.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že bakalársku prácu som vypracoval samostatne, pod odborným vedením doc. Ing. Petra Svobodu, Ph.D. Súčasne prehlasujem, že všetky zdroje obrazových a textových informácií, z ktorých som čerpal, sú riadne citované v zozname použitých zdrojov.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	14
2.1	Spôsoby merania času v minulosti	14
2.2	Rozdelenie hodín	17
2.2.1	Rozdelenie hodín podľa spôsobu zobrazenia času	17
2.2.2	Rozdelenie hodín podľa pohonu	18
2.2.3	Rozdelenie hodín podľa konštrukcie	21
2.3	Konštrukčné riešenia lineárnych hodín	22
2.3.1	Lineárne hodiny s mechanickým prevedením stupnice	22
2.3.2	Lineárne hodiny so svetelným prevedením stupnice	23
2.4	Riadenie Lineárnych hodín	25
2.5	Zdroje pohybu v mechanizmoch zobrazenia času	27
2.6	Spôsoby zobrazenia času	29
2.7	Nastavenie času	33
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE	34
3.1	Analýza problému	34
3.1.1	Parametre pre konštrukčné riešenie	34
3.2	Cieľ práce	35
4	KONCEPČNÉ RIEŠENIE	36
4.1	Koncepčný návrh číslo 1	36
4.2	Koncepčný návrh číslo 2	38
4.3	Koncepčný návrh číslo 3	41
5	KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE	45
5.1	Výber konceptu	45
5.2	Výber elektronických súčastí	46
5.2.1	Programovacia doska Arduino Uno R3	46
5.2.2	RTC modul DS 1302	47
5.2.3	Krokový motor 28BYJ-48:	47
5.2.4	Menič napätia s MP1584EN	48
5.2.5	LED diódy	49

5.3	Popis fungovania konštrukčného riešenia	49
5.4	Návrh konštrukcie a jednotlivých súčastí	50
5.4.1	Návrh pohybového mechanizmu	50
5.4.2	Spojenie prednej a zadnej časti schránky	51
5.4.3	Rozloženie elektronických komponentov	52
5.5	Technologické úpravy	52
5.5.1	Realizácia pohybového mechanizmu	53
5.5.2	Optimalizácia bežca	53
5.5.3	Skosenie dosadacích plôch	54
5.5.4	Zaoblenie	55
5.5.5	Parametre tlače	56
5.6	Schéma zapojenia	57
5.7	Softvér a logická mapa kódu	58
5.8	Časová a cenová bilancia výrobku	59
5.9	3D model lineárnych hodín s LED digitálnou stupnicou	61
5.10	Zobrazenie vzorky po realizácii	62
6	DISKUSIA	63
7	ZÁVER	65
8	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	66
9	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN	69
10	ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	71
11	ZOZNAM TABULIEK	74
12	ZOZNAM PRÍLOH	75
12.1	Výkresová dokumentácia	75
12.2	Ostatné	75

1 ÚVOD

Čas je abstraktný pojem, ktorým je riadený náš každodenný život. V priebehu histórie ľudstvo postupne zdokonaľovalo spôsoby merania času. Od jednoduchých pozorovaní prírody okolo nás sme sa postupne dopracovali k zariadeniam, ktorými dokážeme merať čas s presnosťou na sekundy v priebehu stoviek miliónov rokov. V súčasnosti sa hodiny okrem zobrazenia času používajú aj ako módnny alebo dizajnový doplnok. Okrem bežne známych metód zobrazenia času, ktoré sa využívajú v prípade analógových a digitálnych hodín, sa táto práca zaoberá lineárnymi hodinami ktoré sa snažia o zobrazenie času odlišným spôsobom.

Moderné technológie nám umožňujú tvoriť efektívnejšie a jednoduchšie produkty ako bolo možné v minulosti. Dostupnosť a rozšírenosť aditívnej technológie 3D tlače, umožňuje veľkému množstvu ľudí, rýchlo a lacno vlastniť produkty, aj keď ich nikto nepredáva. Práve kvôli uvedeným dôvodom som použil 3D tlač v procese výroby. Takáto výroba rozšíri povedomie o lineárnych hodinách, ktorých neznalosť je spôsobená vysokou cenou komerčne dostupných produktov.

Myšlienka lineárnych hodín vychádza zo skutočnosti, že čas plynie lineárne. Táto myšlienka sa následne prejaví v konštrukcii samotných hodín, čo vytvorí možnosť zobrazenia času odlišným spôsobom od štandardov, s ktorými sa každodenne stretávame.

Táto práca sa tiež bude zaoberať niekoľkými prevedeniami stupníc, ako aj ich konštrukčnými riešeniami. Stručne sa bude venovať aj elektronickým komponentom, ktoré môžu byť, aj v dnešnej dobe sú používané pri realizácii lineárnych hodín.

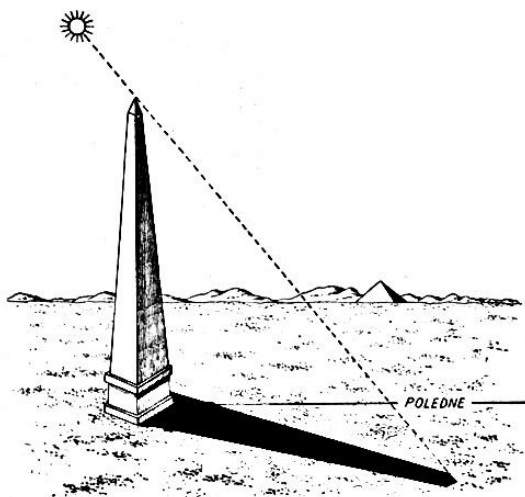
V neposlednom rade bude práca obsahovať postupy a riešenia na vzniknuté problémy počas procesu realizácie. Taktiež bude dbané na nízke produkčné náklady pri dosiahnutí vopred stanovených cieľov.

2 PREHL'AD SÚČASTNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Spôsoby merania času v minulosti

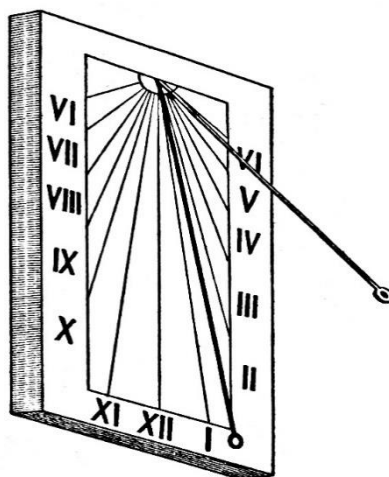
Schopnosť merania času bola pre ľudstvo od nepamäti veľmi dôležitá. Osvojenie si periodicky opakujúcich sa javov v prírode viedlo ku zvyšovaniu kvality života, ale aj k pochopeniu sveta okolo nás. Už v antickom Grécku bol prilet žeriavov vhodným časom na sadenie rastlín a návrat lastovičiek zase ukončením obdobia pre orezávanie stromov [1]. Ľudstvo svoje techniky pozorovania času zlepšovalo čo viedlo k schopnosti presnejšieho meraniu času aj v dlhších časových úsekoch. V rokoch 2100 až 1800 p. n. l. Egypťania sledovali pohyb hviezdy Sírius a následne z jej polohy boli schopní určiť začiatok roku [1]. V priebehu histórie sa presadzovalo delenie dňa na čoraz kratšie úseky z praktických dôvodov, delenie dňa na 24 hodín sa podarilo v Európe presadiť až v dobe stredoveku [2].

Hodinové mechanizmy používané v dávnych dobách by sme dnes mohli považovať za predkov lineárnych hodín, nakoľko často vychádzali z relatívne lineárnych dejov ako sú napríklad: svetlo, horenie ohňa, kvapkanie vody, a iné. Prvou pomôckou na meranie času slúžil gnóm, ktorý sa v Číne objavil už 2400 rokov p. n. l. [3]. Gnóm, ako vidíme aj na obrázku 2-1, bol skonštruovaný tak, aby vrhal tieň o rôznej dĺžke počas dňa, jeho hlavnou nevýhodou bol fakt, že tieň má na rovnakom mieste počas roka v rovnakú hodinu premenlivú veľkosť [3].



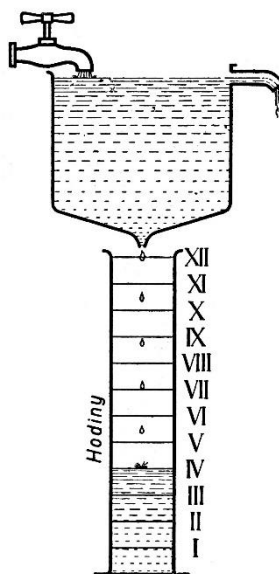
Obr. 2-1 Obrázok Gnómu, predchodca slnečných hodín [3].

Nevýhody vertikálneho gnómu boli odstránené po uložení zobrazovacej tyče rovnobežne so svetovou osou, čo viedlo k položeniu základov slnečných hodín ako vidíme na obrázku 2-2 [3]. Vertikálne slnečné hodiny obsahovali aj stupnicu vďaka čomu bolo možné presnejšie určiť čas [3]. Napriek všetkým konštrukčným vylepšeniam mali slnečné hodiny stále jeden veľký nedostatok – nedal sa pomocou nich merať čas, keď bola noc alebo zamračená obloha.



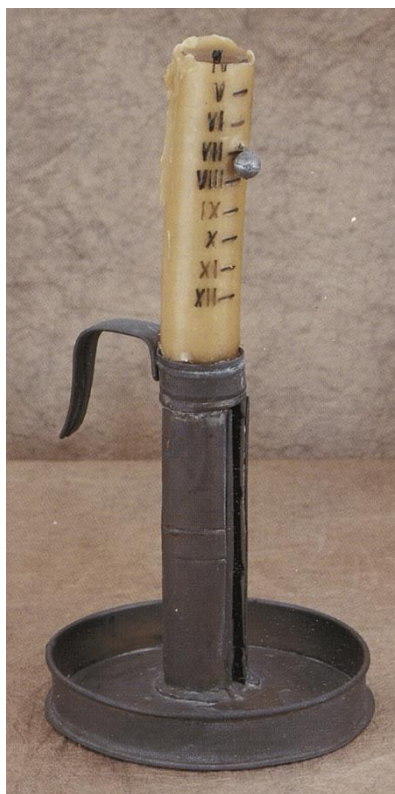
Obr. 2-2 Obrázok vertikálnych slnečných hodín [3].

Riešením nedostatkov spomínaných pri slnečných hodinách boli vodné hodiny, ktoré sa okolo roku 1500 p. n. l. objavili v Egypte [3]. Ich konštrukcia bola jednoduchá a fungovala na princípe odkvapkávania vody z nádoby [3]. Počas nasledujúcich rokov boli hodiny zdokonalené, čo zapríčinilo presnejšie meranie času napríklad nepretržitý prívod vody do odkvapovej nádoby, čo je znázornené na obrázku 2-3, ktorý udržiaval stálu hladinu vody [3].



Obr. 2-3 Obrázok vodných hodín [3].

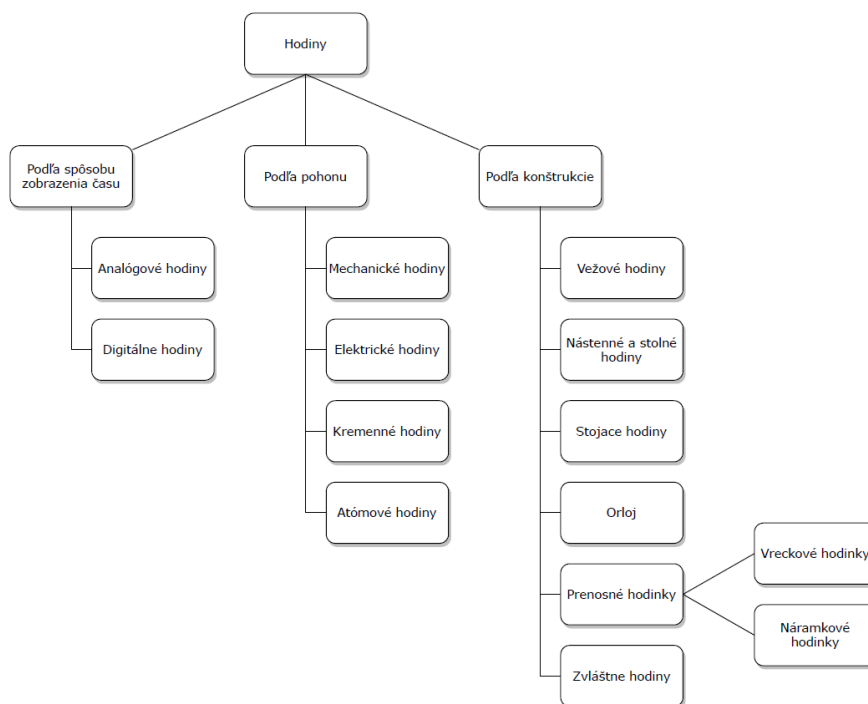
Podobný princíp bol neskôr využitý aj v takzvaných ohňových hodinách. Približne v 18. storočí n. l. sa objavujú ohňové hodiny aj vďaka ich dostupnosti a univerzálnosti, okrem merania času slúžili aj ako zdroj svetla, alebo aj predchodca časovača, ktorý bol tvorený prostredníctvom malej olovenej guľičky, ktorá bola zapichnutá do sviečky a pri prehorení okolitého vosku spadla do plechovej misky [2]. Príklad takýchto hodín vidíme na obrázku 2-4.



Obr. 2-4 Obrázok ohňových-sviecových hodín [2].

2.2 Rozdelenie hodín

Na nasledujúcom obrázku 2-5 vidíme základné rozdelenie hodín rovno z troch hľadísk.

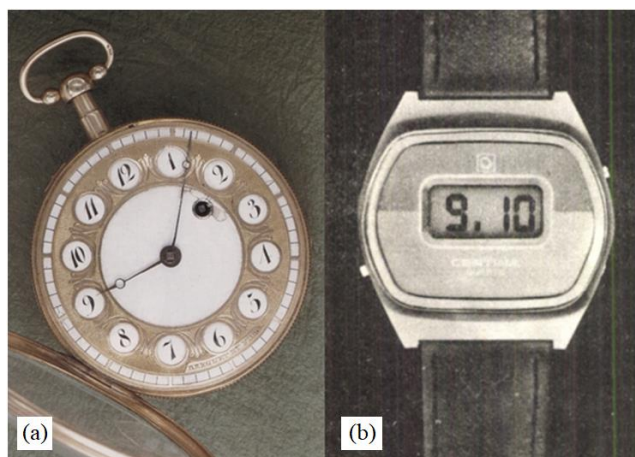


Obr. 2-5 Obrázok schémy rozdelenia hodín [1], [4].

2.2.1 Rozdelenie hodín podľa spôsobu zobrazenia času

Analógové hodiny vychádzajú z analógie kde pohyb ručičky po ciferníku predstavuje plynutie času, to znamená, že v prípade pohybu hodinovej ručičky cez tri segmenty ciferníka uplynie trojnásobne viac času ako v prípade, že sa posunie hodinová ručička iba o jeden segment [5]. Ručička na ciferníku je chápaná ako meradlo času. Príklad hodín s analógovou stupnicou môžeme vidieť na obrázku 2-6 (a).

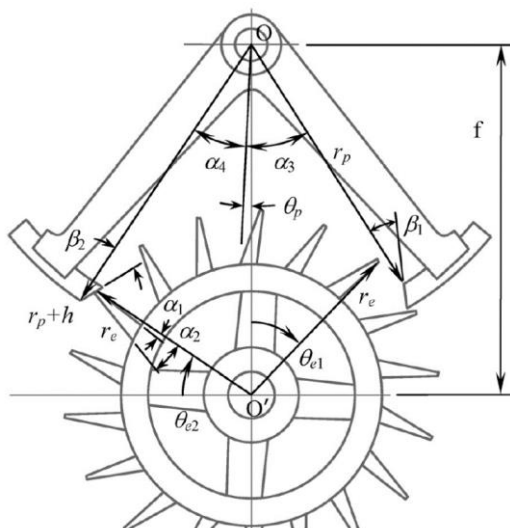
Iným spôsobom zobrazenia času, ako môžeme vidieť na obrázku 2-6 (b), sú hodiny s digitálnou stupnicou, ktoré umožňujú okamžité odčítanie času a to vďaka alfanumerickým znakom zobrazeným na rôznych typoch displejov [5]. Hlavné výhody digitálneho zobrazenia času sú presnosť, rýchlosť a jednoduchosť pri odčítavaní oproti analógovému zobrazeniu [5].



Obr. 2-6 Obrázok rôznych typov hodín; (a) hodiny s analógovou stupnicou [2]; (b) hodiny s digitálnym formátom času [2].

2.2.2 Rozdelenie hodín podľa pohonu

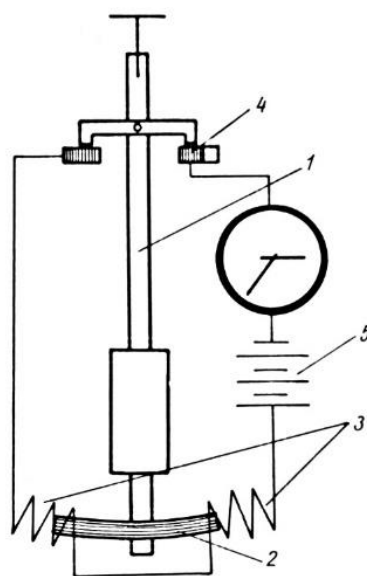
Prvé mechanické vežové hodiny, inak nazývané aj kolieskové hodiny, sa začínajú v Európe objavovať v 14. storočí [6]. Podstata mechanických hodín spočíva v mechanizme nazývanom krok, ktorého úlohou je zabrániť nekontrolovanému pohybu hodinového mechanizmu od zdroja pohybu respektíve motora [3]. Jeden z najvýznamnejších mechanizmov pre hodiny s väčšou presnosťou bol takzvaný pokojný krok vymyslený G. Grahamom [1]. Mechanizmus sa líšil od ostatných zaoblením funkčných plôch peliet na kotve ako vidíme na obrázku 2-7, polomer r_p a r_p+h , čo bránilo spätnému rázu alebo pohybu späť, ktorý spôsoboval plytvanie energiou [6].



Obr. 2-7 Schéma mechanizmu vytvárajúci pokojný krok [6].

Napriek snahe vylepšiť mechanické hodiny, spôsobovali nepresnosť v chode tohto mechanizmu vonkajšie vplyvy ako zmena: teploty, tlaku vzduchu, tiažového zrýchlenia [1].

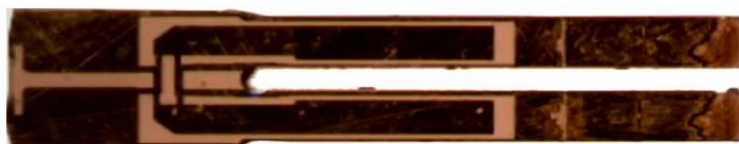
Za priekopníka prvých elektrických hodín môžeme považovať Alexandra Baina, ktorý po dlhej ére mechanických hodín v roku 1840 získal patent na prvé elektrické hodiny [1]. Aj keď koncept vychádzal z mechanických hodín, ukazovateľ času fungoval na princípe sčítania elektrických impulzov z kyvadla hodín [1]. Až o pár rokov neskôr sa podarilo Alexandrovi Bainovi vytvoriť hodiny, ktorých mechanizmus vychádzal z elektrického kontaktu ovládaného prostredníctvom hodinového kyvadla [1]. Schému tohto mechanizmu vidíme na obrázku 2-8. Kyvadlo hodín bolo udržiavané v pohybe prostredníctvom elektrických impulzov, ktoré zabezpečovali dve cievky (3) a následnú zmenu polaritu zabezpečovali dva elektrické kontakty (4) v hornej časti kyvadla (1) [1]. Ako zdroj elektrickej energie Alexander Bain používal galvanický článok, tvorený uhlíkovou elektródou zakopanou v zemi a zinkovými doskami v jej okolí [1].



Obr. 2-8 Schéma mechanizmu elektrických hodín [1]; (1) kyvadlo; (2) jarmo; (3) impulzné cievky; (4) kontaktné spínače; (5) zdroj.

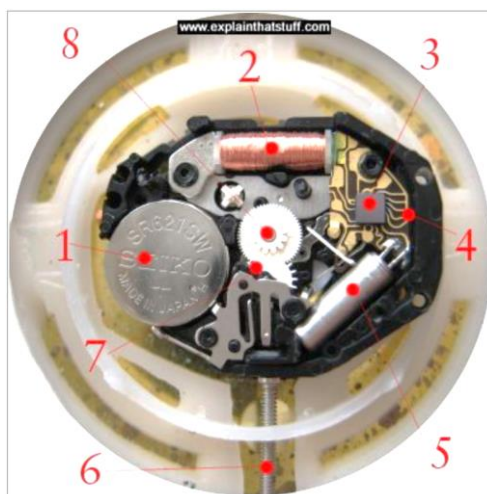
Komerčného využitia sa elektrické hodinky dočkali až začiatkom dvadsiateho storočia, spočiatku bol mechanizmus sprevádzaný rôznymi problémami ako neschopnosť udržiania stálej amplitúdy, alebo dodržanie dĺžky kmitu [1]. Neskôr sa Matthausovi Hippovi podarilo navrhnuť hodiny, ktoré boli schopné automatickej regulácie amplitúdy kyvadla, čo umožnilo vytvorenie presných a komerčne dostupných elektrických hodín [1].

Pri prvom pohľade na kremenné hodiny by sa mohlo zdať, že sa jedná o úplne odlišný princíp fungovania hodín, avšak okrem zmeny veľkosti “kyvadla” a frekvencie sa toho veľa nezmenilo. Kremenné hodiny, ktoré mnohí z nás dnes poznajú pod označením “QUARTZ” fungujú na princípe piezoelektrického javu [7]. Ak na kúsok kremeňa priložíme napätie, rozvibruje sa s istou frekvenciou [7]. Počas výrobného procesu sú tieto malé kyvadlá ladené na frekvenciu 32 768 Hz pomocou jemného zlatého povrchu pridávaného na okraj “vidličky” ktorú vidíme na obrázku 2-5 [8].



Obr. 2-9 Obrázok kyvadla/“vidličky“ quartz hodín [8].

Frekvencia 32 768 Hz je kľúčová a to hneď z dvoch dôvodov. Prvý je, že nakoľko sa nachádza nad frekvenciou 20 000 Hz je mimo našej schopnosti počutia a druhý, že číslo 32 768 je mocnina dvojky (konkrétne $2^{15} = 32\,768$), čo umožňuje pomocou pätnástich preklápacích obvodov konvertovať prijatý signál do frekvencie 1 Hz [9]. Zvýšenie kmitočtu znamenalo rozdelenie sekundy na menšie časové úseky, to umožnilo vyrobiť hodiny fungujúce s väčšou presnosťou a nakoľko je kremenná vidlička obalená v kovovom obale je čiastočne chránená od vonkajších vplyvov, ktoré by mohli spôsobiť odchýlky v danom kmitočte [1]. Starnutie kremeňa a následná zmena frekvencie je najväčšou nevýhodou pri dlhodobom použití [1]. Aj napriek spomínaným nevýhodám sú presnosť a kompaktné rozmery daného zariadenia dostačujúce pre použitie v každodennom živote, preto ho dnes môžeme nájsť napríklad v počítačoch, hodinách, ale aj v RTC (Real Time Clocks) module, ktorý bude použitý pri tvorbe lineárnych hodín. Ukážku kompaktnosti celého zariadenia môžeme vidieť na obrázku 2-10 ako súčasť náramkových hodín.



Obr. 2-10 Obrázok hodín využívajúcich QUARTZ mechanizmus [7]; (1) batéria; (2) elektrický motor; (3) mikročip; (4) elektrický obvod; (5) Quartz oscilátor; (6) šrób korunky; (7) (8) ozubený prevod.

V druhej polovici dvadsiateho storočia došlo k nahradeniu kremenného oscilátora atómom cézia 133, a došlo k vytvoreniu céziového oscilátoru s kmitočtom 9 192 631 770 Hz [1]. Neskorší výskum umožnil skonštruovať hodiny, ktoré sa oneskoria iba o jednu sekundu v priebehu 100 miliónov rokov [10].

2.2.3 Rozdelenie hodín podľa konštrukcie

V 15. až 17. storočí si získali obľubu vežové hodiny, ktorých konštrukcia a celý mechanizmus bol väčšinou tvorený železom aj preto, že prvými výrobcami takýchto hodín boli práve kováči a zámočníci, čo sa prenieslo aj do technológie výroby ako napríklad klinové a nítované spoje taktiež pozorovateľné na obrázku 2-11 (a) [1], [2].

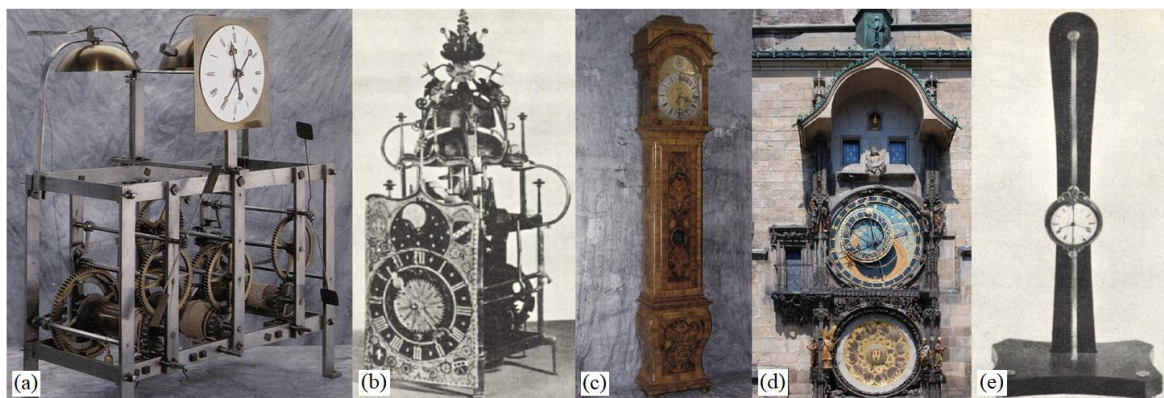
Medzi 14. až 15. storočím sa objavujú prvé typy nástenných hodín, ktoré boli zo začiatku poháňané prostredníctvom závažia [1]. Hlavné charakteristické črty konštrukcie sú úspornosť, jednoduchosť ale aj otvorený rám bez puzdra, neskôr aj s dekoračnými prvkami ktoré môžeme vidieť na obrázku 2-11 (b) [1].

V rokoch 1650 až 1660 sa po prvý raz objavujú takzvané stojace hodiny, ktoré boli charakteristické najmä svojou drevenou schránkou, ako je možné vidieť na obrázku 2-11 (c), ktorá neskôr v 18. a 19. storočí dosahovala výšku okolo 270 centimetrov [1].

Orlojom nazývame interiérové alebo exteriérové hodiny, ktoré zobrazujú okrem časových údajov aj pohyb planét či kalendárne údaje [2]. Orloje boli stavané v 14. až 16. storočí napríklad Pražský orloj, ktorý vidíme na obrázku 2-11 (d) [2].

Prenosné hodiny ktoré ešte delíme na vreckové a náramkové za začali v Európe objavovať v 16. storočí, pričom už od začiatku plnili okrem úžitkovej funkcie aj ozdobnú [1].

Do kategórie zvláštnych hodín patria najmä prevedenia hodín s neobvyklým tvarom, pohonom alebo spôsobom pohybu [1]. Príkladom ktorý môžeme vidieť na obrázku 2-11 (e) sú gravitačné hodiny, ktoré využívajú svoju tiaž k pohonu [1]. Zvláštne hodiny sú veľmi cenené a vyhľadávané nakoľko sa vyznačujú svojou originalitou [1]. Do tejto kategórie môžeme zaradiť aj lineárne hodiny, pretože sa jedná o hodiny zobrazujúce čas zaujímavým spôsobom.



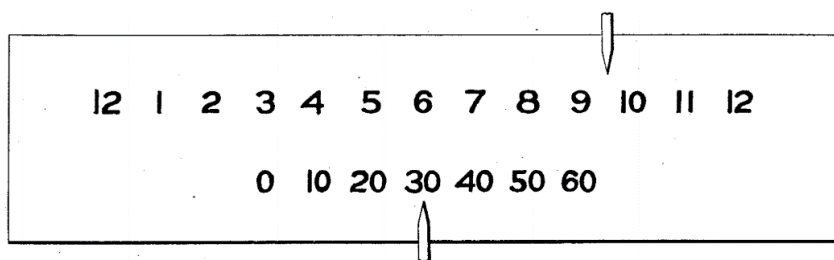
Obr. 2-11 Obrázok rôznych typov hodín [1], [2], [4]; (a) vežové; (b) nástenné; (c) stojace; (d) orloj; (e) gravitačné.

2.3 Konštrukčné riešenia lineárnych hodín

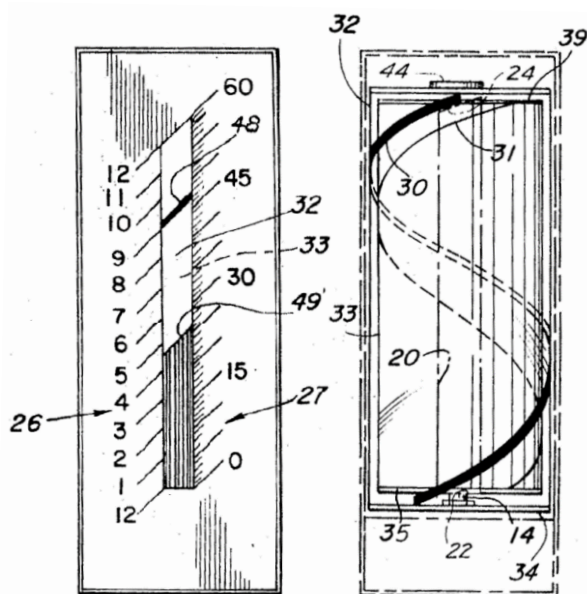
Možnosťou zobrazenia času prostredníctvom lineárnych hodín sa začínajú zaoberať umelci a nadšenci do techniky v 20. storočí [11], [12], [13]. Dnes sa môžeme s lineárnymi hodinami stretnúť hlavne vďaka minimalizmu alebo industriálnemu štýlu. Medzi dva hlavné spôsoby prevedenia lineárnych hodín, môžeme považovať hodiny s mechanickým prevedením stupnice a so svetelným prevedením stupnice [11], [14].

2.3.1 Lineárne hodiny s mechanickým prevedením stupnice

Stupnica je väčšinou súčasťou rámu a samotný pohyb koná ukazovateľ času (ručička), zabezpečený prostredníctvom motorov kombináciou s jednoduchými ozubenými alebo remeňovými prevodmi [15], [16]. Môžeme sa stretnúť s príkladmi rozdelenej stupnice, kedy máme samostatnú stupnicu pre hodiny a samostatnú stupnicu pre minúty, ako na obrázku 2-12, ale aj s príkladmi spojenej stupnice, kedy dôležitú úlohu zohráva dvojité ukazovateľ ako na obrázku 2-13 [11], [12].



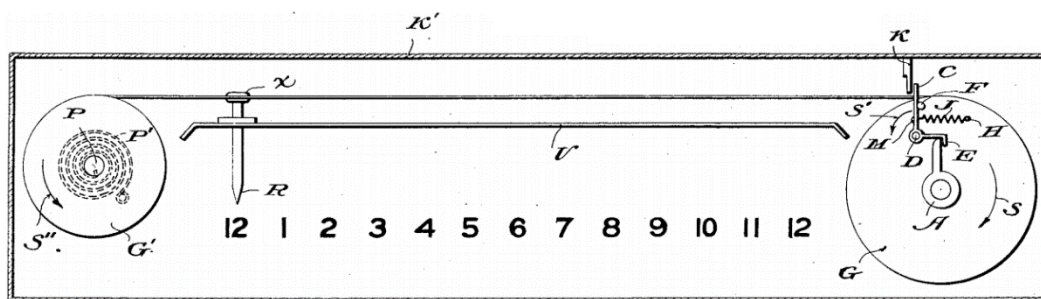
Obr. 2-12 Obrázok lineárnych hodín s líniovou stupnicou [12].



Obr. 2-13 Obrázok lineárnych hodín s valcovou konštrukciou [11].

Ukazovateľ z obrázku 2-13 je zostavený vďaka dvom priehľadným valcom, na ktorých sú umiestnené jednotlivé ukazovatele [11]. Hodinový ukazovateľ závitnicového tvaru (30), tvorený farebnou páskou a je umiestnený na väčšom valci zatiaľ čo druhý minútový (31), podobne na menšom valci [11]. Hodiny na obrázku 2-13 majú minútovú stupnicu s rozlišovacou schopnosťou jednej minúty, zatiaľ čo hodiny na obrázku 2-12 s rozlišovacou schopnosťou desiatich minút.

Na obrázku 2-14 môžeme vidieť mechanizmus, ktorý je poháňaný západkou A, ktorá vďaka pákovému mechanizmu CDE, ktorý je celý pripevnený na kladke G, poháňa kladku G, ktorá až do momentu pokiaľ páka CDE narazí z ľavej stany do kolíka K, ktorý je pripevnený nehybne k rámu hodín a spôsobí jej natočenie v smere S' [12]. Kolík K spôsobí natočenie páky CDE a uvoľnenie ramena E zo západky A a v rovnaký okamih sa uvedie do pohybu druhá kladka G' vďaka pružine P' , čo spôsobí posunutie ukazovateľa času R do začiatkovej polohy, ktorú môžeme vidieť na obrázku [12].

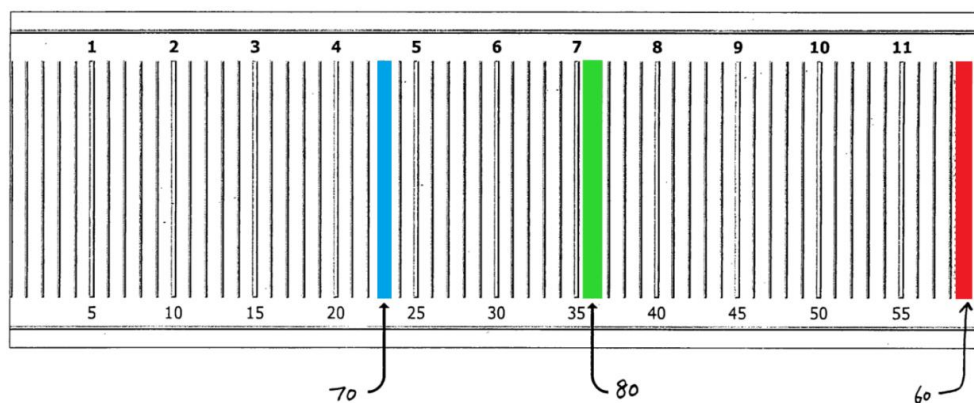


Obr. 2-14 Obrázok mechanizmu s líniovou stupnicou [12].

Jednou z najväčších výhod lineárnych hodín s mechanickou stupnicou je skutočnosť, že nie sú energeticky náročné nakoľko na pohyb podobného mechanizmu plne postačuje malý motor. Naopak jednou z nevýhod je neschopnosť odčítať čas v tme čo vyústilo do návrhu lineárnych hodín so svetelným prevedením stupnice.

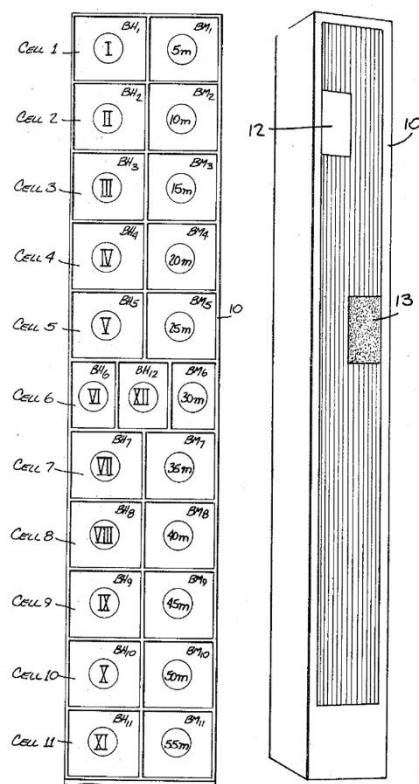
2.3.2 Lineárne hodiny so svetelným prevedením stupnice

Ďalšou výhodou lineárnych hodín so svetelným prevedením stupnice je možnosť použitia jednej stupnice na zobrazenie hodín, minút ale aj sekúnd vďaka LED alebo LCD podsvieteniu [14]. Príklad môžeme vidieť na obrázku 2-15 kde zelená predstavuje hodinový ukazovateľ, modrá minútový ukazovateľ a červená sekundový ukazovateľ [14]. Takáto stupnica môže byť pripojená k počítaču, alebo byť súčasťou väčšieho zariadenia, kde prostredníctvom už spomínaného RTC modulu a synchronizácie s NIST (National Institute of Standards and Technology) môže byť dosiahnutá vysoká presnosť hodín [14].



Obr. 2-15 Obrázok lineárnych hodín so svetelnou stupnicou (upravené) [14].

Na obrázku 2-16 môžeme vidieť zaujímavé prevedenie, kde sú jednotlivé časové bunky prekryté panelom, ktorý pri absencii vnútorného zdroja svetla pôsobí ako zrkadlový povrch pokrývajúci číselníky [13]. Minútová stupnica má päťminútové prírastky a aj keď zariadenie obsahuje dve stupnice, môžu byť použité rôzne farby svetla v jednotlivých stupniciach pre dosiahnutie ešte lepšej rozlišovacej schopnosti.



Obr. 2-16 Obrázok lineárnych hodín so zrkadlovým povrchom [13].

V súčasnosti je veľmi ťažké zaobstarat' si lineárne hodiny, pretože sa nevyrábajú v sériovej výrobe. Výrobou sa zaoberajú väčšinou dizajnové štúdiá alebo umelci, ktorý si dajú za svoje diela poriadne zaplatiť. Napríklad lineárne hodiny ručnej výroby ako môžeme vidieť na obrázku 2-17 s dĺžkou 92 centimetrov stoja 550 €, výrobca na svojej stránke predáva kúsky v cenovom rozpätí 150–925 € [17].



Obr. 2-17 Obrázok komerčných lineárnych hodín [17].

2.4 Riadenie Lineárnych hodín

Dnes sa aj vďaka dostupnosti 3D tlače, popularite DIY projektov a veľkej dostupnosti modulárnych súčiastok nájde veľké množstvo ľudí, ktorý si lineárne hodiny skonštruujú sami doma. Hlavnou súčasťou takéhoto projektu je mikropočítač, prostredníctvom ktorého sa dajú ovládať všetky potrebné senzory a zariadenia. Dnes sa vyskytuje na trhu už niekoľko dostupných open-source, jednodoskových počítačov, ktoré fungujú na princípe mikročipov. Najznámejšie jednodoskové počítače nesú mená Arduino a Raspberry Pi, dnes už môžeme na trhu nájsť aj lacnejšie kópie spomínaných produktov. V Nasledujúcej tabuľke môžeme vidieť porovnanie spomínaných produktov aj s výhodami ktoré prinášajú.

Tab. 2-1 Porovnanie dostupných jednoduchových počítačov značky Arduino a Raspberry Pi [18], [19], [20], [21], [22], [23].

Názov	Rozmery mm	Napájanie (doporučené) V	Konektivita	Frekvencia procesora	Počet bitov	Programovací jazyk	Možnosti napájania	Cena* €
Arduino MEGA 2560 R3	101,5x53,3	6–20 (7–12)	54 digitálnych + 16 analógových	16MHz	8	Wiring	USB-B, 5,5x2,1 barrel plug, Power I/O pins	42,35
Arduino UNO R3	68,6x53,4	6–20 (7–12)	14 digitálnych + 6 analógových	16MHz	8	Wiring	USB-B, 5,5x2,1 barrel plug, Power I/O pins	21,78
Arduino MICRO	48x18	6–9 (7–9)	20 digitálnych + 12 analógových	16MHz	8	Wiring	mini USB, Power I/O pins	21,78
Arduino NANO	45x18	6–20 7–12	22 digitálnych + 8 analógových	16MHz	8	Wiring	mini USB, Power I/O pins	24,20
Raspberry Pi 4 B	85x56	5	28 GPIO portov	1,5 GHz, 4 jadrá	64	Python, JavaScript, Scratch,...	USB-C, GPIO header	38,9
Raspberry Pi 1 A+**	65x56,5	5	28 GPIO portov	700MHz, 1 jadro	32	Python, JavaScript, Scratch,...	Micro USB, GPIO header	25,63
Raspberry Pi Pico***	51x21	1,8–5,5	26 GPIO portov	133MHz, 2 jadrá	32	MicroPython, C/C++	Micro USB, GPIO header	5,75

*Ceny sú získané od autorizovaných predajcov z Českej republiky

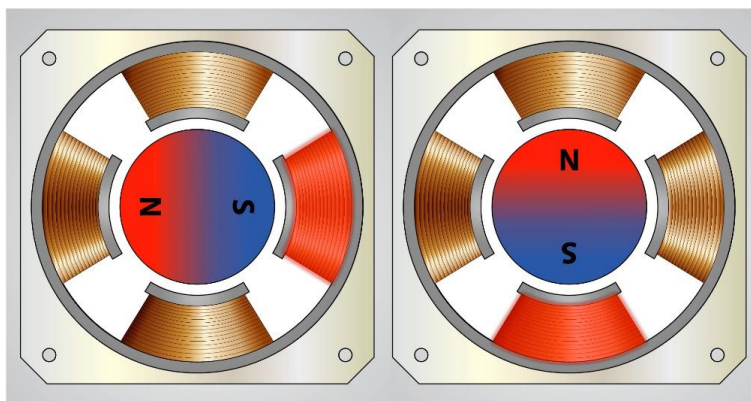
**Aj keď sa jedná o produkt staršej generácie, výrobca garantuje produkciu najskôr do januára 2006. Bol zaradený z dôvodu priamej konkurencie k doskám Arduino.

***Spustenie predaja sa očakáva v apríli 2021.

2.5 Zdroje pohybu v mechanizmoch zobrazenia času

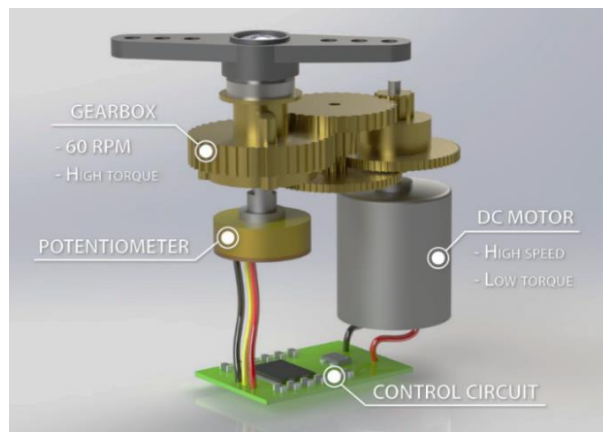
Ako môžeme vidieť vyššie v popise patentov, ktoré sa nachádzajú na obrázku 2-12 a obrázku 2-13, to znamená v prípade lineárnych hodín s mechanickým prevedením stupnice, dôležitou súčasťou každého mechanizmu je zdroj pohybu. Dnes sú často používané krokové motory, servomotory ale aj jednoduché DC motory [24], [25]. Hlavnou výhodou krokového motora a servomotora je schopnosť funkcie bez ďalších zložitých senzorov.

Krokový motor je založený na princípe jednosmerného bezkartáčového motora bez potreby ďalších senzorov [26]. Vďaka rotoru, ktorý je často tvorený permanentným magnetom a veľkému počtu vinutí na statore, môžeme kontrolovaným dodávaním prúdu do jednotlivých vinutí otáčať stator o časť otáčky, čo nazývame aj krok [26]. Princíp fungovania krokového motora vysvetľuje obrázok 2-18. V praxi sa využíva aj možnosť napájania dvoch vinutí naraz, čo umožňuje robiť menšie kroky [26]. Dodávanie prúdu do vinutí je zabezpečené prostredníctvom riadiaceho modulu, ktorý nie je súčasťou motora [27].



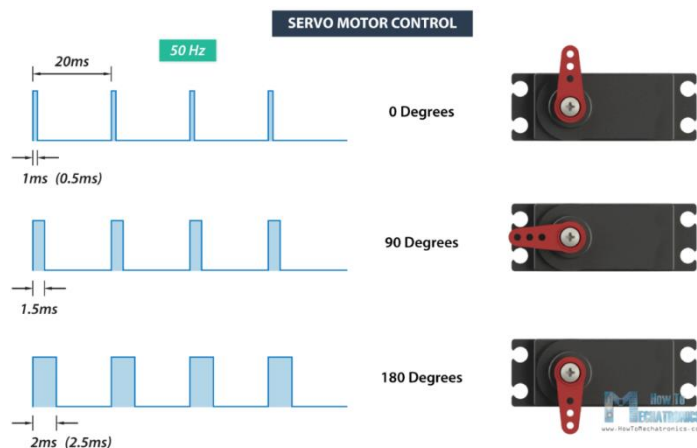
Obr. 2-18 Obrázok popisujúci fungovanie krokového motora [26].

Ďalším často využívaným zariadením na pohon sú servomotory, ktoré umožňujú precízne nastavenie polohy výstupného hriadeľa, väčšinou v rozmedzí 0° až 180° [28]. Hlavnými súčasťami každého servomotora je DC motor, kontrolný obvod a potenciometer alebo v industriálnych servomotoroch sa využíva enkodér, ktorý zabezpečuje spätnú väzbu o natočení výstupného hriadeľa [28]. Spomínané komponenty sú zobrazené na obrázku 2-19.



Obr. 2-19 Obrázok zobrazujúci vnútorné komponenty servomotora [28].

Servomotory sú riadené prostredníctvom impulzov, ktoré prijímajú z riadiacej jednotky a na základe ktorých vďaka rôznym dĺžkam nastavujú servomotor do jednotlivých polôh [28]. Niektoré z polôh sú zobrazené na obrázku 2-20.



Obr. 2-20 Obrázok zobrazujúci príklad natočenia servomotora pri dĺžkach pulzov [28].

Aj keď sa dnes môžeme stretnúť so samostatným použitím DC motorov, často sú dopĺňané ďalšími komponentami, ktoré zabezpečujú predvídateľnosť pri ich použití. Tieto komponenty nemusia byť vždy implementované v samotnom motore ako sme videli v predchádzajúcich dvoch prevedeniach, ale môžu byť napríklad súčasťou prejazdovej dráhy. Jedným z často používaných je takzvaný “limit switch“ (v preklade koncový/limitný spínač), ktorý umožňuje zariadeniam vyhradenie pracovného priestoru alebo určenie počiatku [25]. Zariadenie je zobrazené na obrázku 2-21 a funguje na princípe spínača, obohateného o pákový mechanizmus zabezpečujúci pri silovom pôsobení, napríklad pri náraze od zobrazovacej hlavy zopnutie spínača [27].



Obr. 2-21 Obrázok spínača s pákovým mechanizmom [27].

Iná metóda získavania polohy mechanizmu je prostredníctvom ultrazvuku, ktorý môže byť použitý ako kombinácia s DC motorom. Modul na obrázku 2-22 vyšle ultrazvukový signál, ktorý sa odrazí od pozorovaného objektu do prijímača a na základe poznania rýchlosti zvuku v priestore sa dopočíta aktuálna vzdialenosť od snímača [27].





Obr. 2-22 Obrázok ultrazvukového merača vzdialenosti [27].

2.6 Spôsoby zobrazenia času

Najľahším spôsobom zobrazenia času či už na analógových hodinách, alebo lineárnych hodinách s mechanickým prevedením stupnice, je vďaka ručičkám. Takéto konštrukčné riešenie môžeme vidieť aj na patente, ktorý je zobrazený na obrázku 2-14. Všeobecne by sa dalo hovoriť o dvoch druhoch zobrazenia, krokovo ako v patente, ktorý sa nachádza na obrázku 2-14, kde sa ručička posúva po krokoch s prírastom piatich minút, respektíve jednej hodiny, alebo plynule to je spôsob, keď ručička prechádza aj polohami medzi jednotlivými dielikmi hodinovej stupnice.

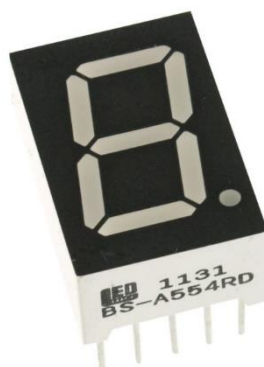
V prípade konštrukcie lineárnych hodín so svetelným prevedením stupnice, hlavnú úlohu zohráva svetlo, ako sme mohli vidieť aj vyššie v patentoch na obrázku 2-15 a obrázku 2-16. Dnes sa čoraz viac aj v bežnom živote stretávame s technológiou LED (light-emitting diode – v preklade elektroluminiscenčná dióda), ktorá vznikla v minulom storočí a vyniká oproti bežným žiarovkám, ako môžeme vidieť aj v tabuľke 2-2.

Tab. 2-2 Porovnanie klasických žiaroviek a LED diód [27], [29].

Technológia	Farebná teplota K	Napätie (nominálne) V	Svetelný Tok lm	Nominálny Výkon W	Merný Výkon lm/W	Rozmery	Cena €	Ukážka
LED	3000	8,5–10,5 (9,8)	340	3,4	100	13,5 × 13,5 × 1,5	1,25	
Žiarovka	3000	0–13 (12)	11	1,2	9	Ø 11 × 23	0,79	

Využitie efektívneho, silného a dlhodobo spoľahlivého zdroja svetla, umožňuje kompaktnejšie celkové rozmery hodín, či dlhšiu výdrž v prípade použitia akumulátorov. V prípade LED diód je dôležité pri výkonných diódach nezabúdať na správne chladenie, aby nedošlo k poškodeniu alebo skráteniu životnosti, čo uvádza aj výrobca vo svojom produktovom liste [29].


Komerčným riešením digitálneho formátu času v dnešnej dobe, ktorý nám umožňuje jeho okamžité odčítanie, je technológia 7-segmentového displeja viditeľného na obrázku 2-23. Funguje na princípe siedmich svetlo emitujúcich diód, ktoré pri prechode malého elektrického prúdu a správneho digitálneho signálu, dokážu zobraziť číslice desiatkovej sústavy [30].



Obr. 2-23 Obrázok 7-segmentového displeja [27].

Dnes môžeme na trhu nájsť niekoľkoznakové displeje, alebo displeje s rôznymi špeciálnymi úpravami napríklad obohatené o rôzne segmenty a iné. V nasledujúcej tabuľke 2-3 môžeme vidieť porovnanie 7-segmentových displejov od rôznych výrobcov.

Tab. 2-3 Varianty dostupných 7-segmentových displejov červenej farby s maximálnym prúdom na segment 30 mA [27].

Výrobca	Úbytok napätie V	Svietivosť mcd	Príkon mW	Rozmery súčiastky* (Š x V x H) mm	Rozmery znaku (Š x V) mm	Cena €	Výhody
BRIGHT LED	6,8–10	18	320	47,7 x 69,7 x 15	31,9 x 56,9	4,37	Veľký a tenký model
KINGBRIGHT**	1,85–2,5	18	105	25,2 x 21,2 x 11,8	7,97 x 13,8	3,70	
BRIGHT LED	3,4–5	10	160	24 x 33,9 x 14,8	14,1 x 25,4	0,83	
BRIGHT LED	1,9–2,5	3	80	9,8 x 12,9 x 9,9	6,2 x 10	0,87	Menší model
AVAGO	2–2,5	0,98	37	7,1 x 11 x 9,5	4 x 8	2,32	Najmenší model

*Rozmery súčiastky sú uvedené vrátane napájacích a dátových pinov.

**Jedná sa o dvojznakový displej ktorý je použitý ako reprezentant špecifického prevedenia.

2.7 Nastavenie času

Počas používania akýchkoľvek hodín nastanú situácie, kedy je potrebné nastaviť alebo prestaviť čas, napríklad časový posun alebo meškanie. Jednou z možností sú mechanické jednopolohové spínače, v ktorých pri aplikovaní silového pôsobenia nastane uzavretie obvodu a následné odoslanie impulzu do riadiacej jednotky. Aj pri navrhovaní lineárnych hodín, budú použité dva mechanické jednopolohové spínače, ktoré zabezpečia osobitné nadstavenie minútovej a hodinovej stupnice. Príklad takéhoto spínača môžeme vidieť na obrázku 2-24.



Obr. 2-24 Obrázok mechanického jednopolohového spínača [27].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

3.1 Analýza problému

Po vykonaní prieskumu trhu v oblasti lineárnych hodín som došiel k záveru, že neexistuje veľa výrobcov hodín s takýmto prevedením stupnice. Keďže sa jedná najmä o štýlový doplnok do domu, produkciou sa zaoberajú hlavne dizajnérske alebo umelecké štúdiá, často len na zákazku. Produkcia takéhoto typu hodín neprebíha prostredníctvom sériovej výroby, čo sa odráža na vysokej cene dostupných modelov, ako som už písal vyššie.

Celé zariadenie je navrhnuté s ohľadom na realizáciu prostredníctvom 3D tlače. Pri tomto spôsobe výroby je dôležité dodržať isté technologické úpravy, ktoré umožnia funkčnosť jednotlivých súčastí ako celku. Jedná sa dnes veľmi rozšírenú technológiu ktorá umožní možnosť vlastniť lineárne hodiny veľkej skupine ľudí, s možnosťou vlastnej úpravy ako napríklad farebné prevedenie.

Na riadenie celého zariadenia je použitá open-source programovacia doska Arduino Uno, čo umožňuje jednoduchý prístup k použitým elektronickým komponentom, ale aj jednoduchosť modifikácie v prípade potreby.

Hodiny boli navrhnuté s nízkymi produkčnými a prevádzkovými nákladmi, čo bolo dosiahnuté použitím moderných technológií v hodinách.

3.1.1 Parametre pre konštrukčné riešenie

Navrhovaná konštrukcia je určená na izbové použitie to znamená, že je chránená pred priamym slnečným žiarením, vplyvom počasia a silným znečistením. Spomenuté podmienky spĺňajú doporučený teplotný rozsah Arduina Una (- 25 až + 70 °C) a umožňujú vytvorenie otvorenej konštrukcie, bez nutnosti chladenia alebo odolného krytovania [18]. Na konštrukciu bude použitý ekologický a cenovo dostupný materiál PLA vo forme filamentu, spracovaný v 3D tlačiarňami typu FDM. Zvolená technológia s použitým materiálom zabezpečujú nízku hmotnosť do 500 g. Najväčší rozmer hodín nepresahuje veľkosť 400 mm.

3.2 Cieľ práce

Cieľom tejto bakalárskej práce je konštrukčný návrh a následná realizácia funkčnej vzorky lineárnych hodín, prostredníctvom použitia 3D tlače, riadenej pomocou Arduino Uno, s digitálnou stupnicou osvetlenou prostredníctvom ukazovateľov využívajúcich LED technológiu.

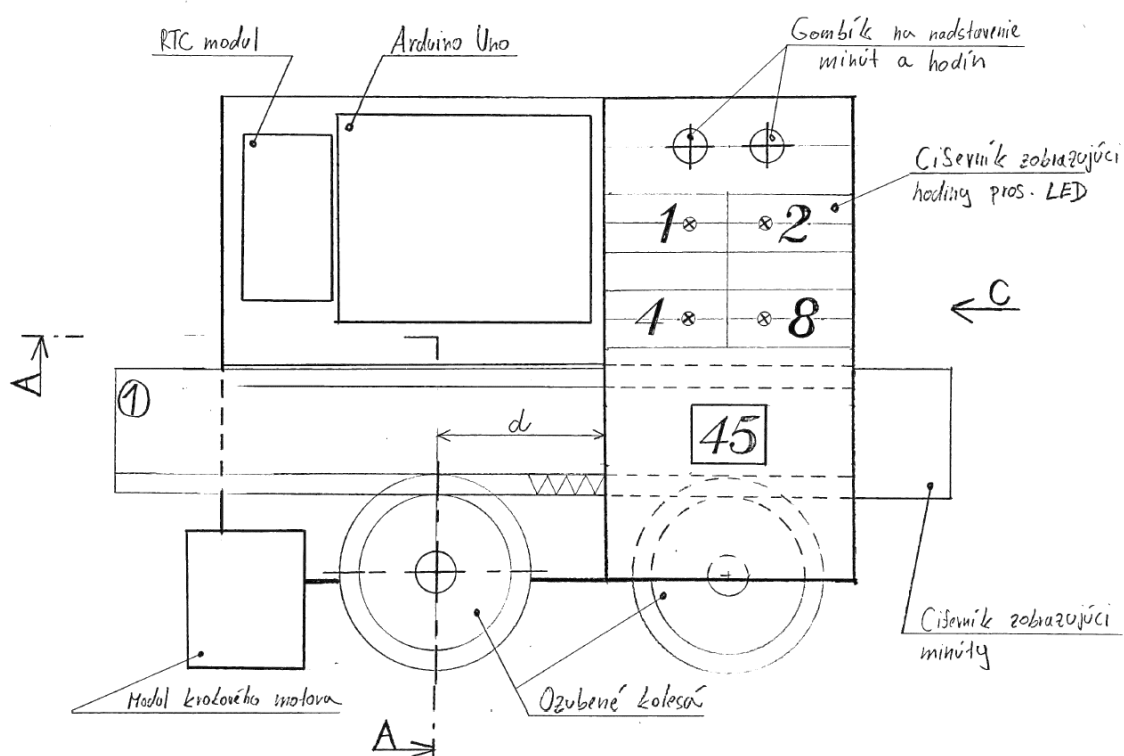
Dielčie ciele bakalárskej práce:

- LED stupnica s rozsahom 12 hodín a rozlíšiteľnosťou 5 minút
- Popísanie súčasných konštrukcií lineárnych hodín
- Definovať vhodné parametre pre konštrukčné riešenie
- Navrhnuť varianty konštrukčných usporiadaní
- Spracovanie výkresovej dokumentácie vybranej varianty vrátane riadiaceho softvéru

4 KONCEPČNÉ RIEŠENIE

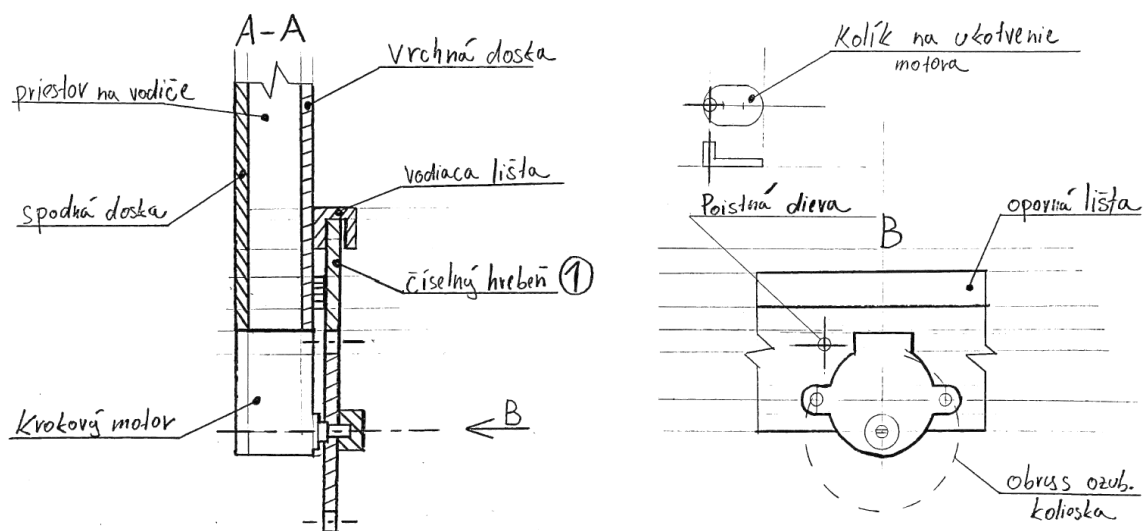
4.1 Konceptný návrh číslo 1

Konceptný návrh vychádza s industriálneho štýlu, ako je možné vidieť na obrázku 4-1 čo znamená, že všetky elektronické komponenty sú viditeľné. Ďalšou výhodou je jednoduchá konštrukcia, ktorá nevyžaduje veľké nároky na uloženie jednotlivých súčastí. Najväčšou nevýhodou bude údržba, ktorá si bude vyžadovať náročné čistenie komponentov počas používania, aby nedošlo k narušeniu estetického vzhľadu. Hodinový ciferník je tvorený binárnou stupnicou a zobrazenie aktuálneho času zabezpečujú štyri LED diódy, pričom súčet čísiel s osvetlenou LED diódou dáva hodnotu aktuálneho času. Nad hodinovým ciferníkom sa nachádzajú dva spínače, vďaka ktorým je možné individuálne nastaviť aktuálny čas na hodinovej alebo minútovej stupnici. Minútovú stupnicu tvorí ozubený hrebeň, ktorý je do pohybu uvedený prostredníctvom krokového motora ako môžeme vidieť na obrázku 4-2 predstavujúci rez A-A. Na obrázku 4-1 vidíme kótovaný rozmer d , ktorý zabezpečuje, aby bol mechanizmus minútovej stupnice funkčný.



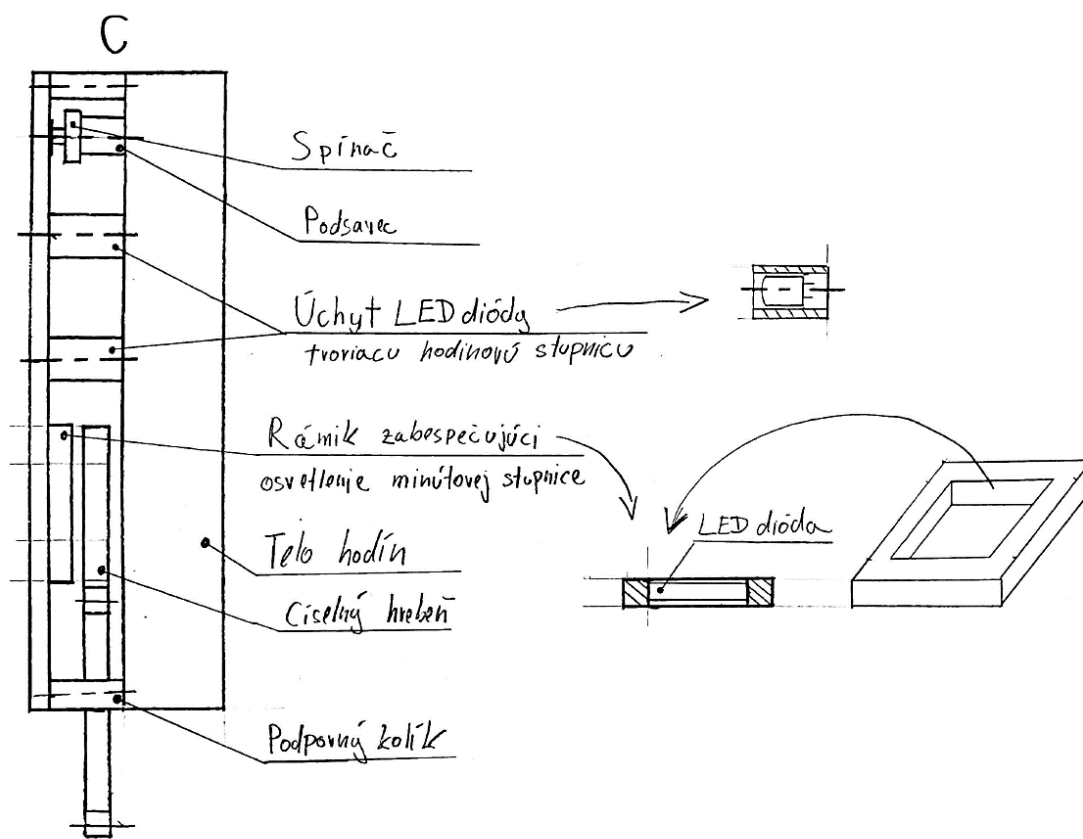
Obr. 4-1 Obrázok konceptu číslo 1, celkový pohľad.

Krokový motor je osadený v tele hodín, ktoré je duté a vytvára priestor na vedenie vodičov medzi jednotlivými komponentami. Ukotvenie krokového motora je zabezpečené pomocou kolíka na ukotvenie, ktorý sa nachádza v poistnej diere. Rotácií motora zabráňuje tvarové uloženie samotného motora. Krokový motor pomocou ozubeného kolesa, uvádza do pohybu číselný hrebeň minútovej stupnice, ktorý je na vrchnej časti zaistený vodiacou lištou môžeme vidieť na obrázku 4-2.



Obr. 4-2 Obrázok konceptu číslo 1, pohľad A-A a B.

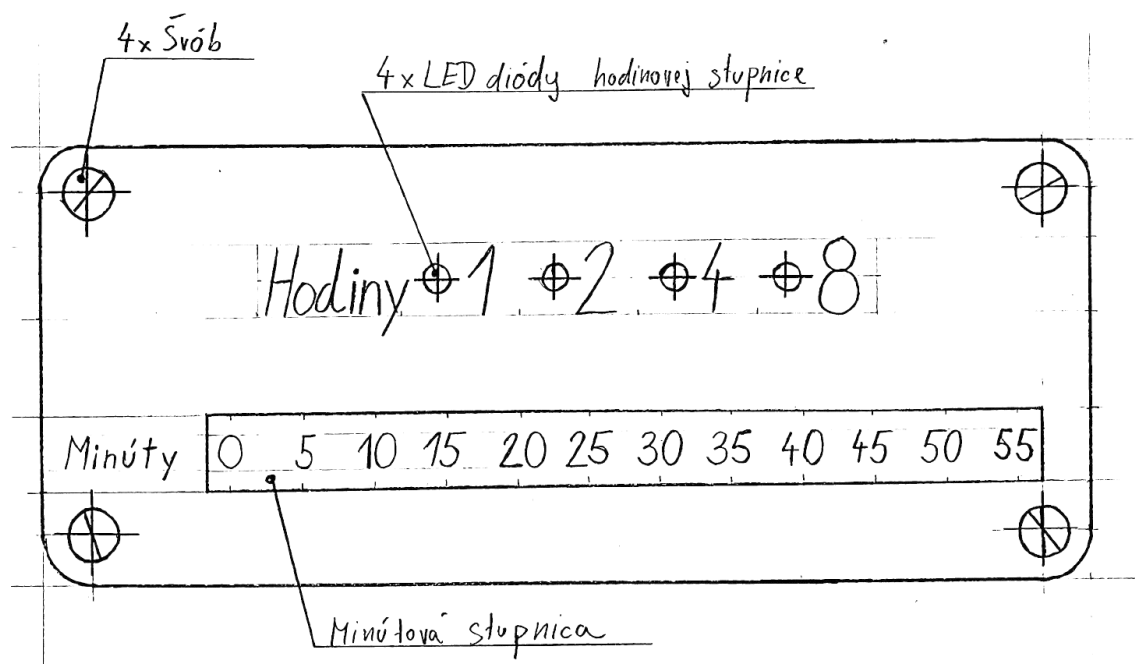
Obrázok 4-3 predstavuje pohľad C, to znamená pohľad z boku na súčasti pod ciferníkom. Ten môže byť zhotovený z priehľadného akrylového plexiskla, to umožňuje pohľad na komponenty pod samotným ciferníkom. Obrázok ďalej zobrazuje uloženie komponentov zabezpečujúcich uchytenie LED diód, ktoré osvetľujú jednotlivé stupnice. Osvetlenie minútovej stupnice môže byť prevedené sériou malých LED diód, alebo prostredníctvom LED vlákna.



Obr. 4-3 Obrázok konceptu číslo 1, pohľad C.

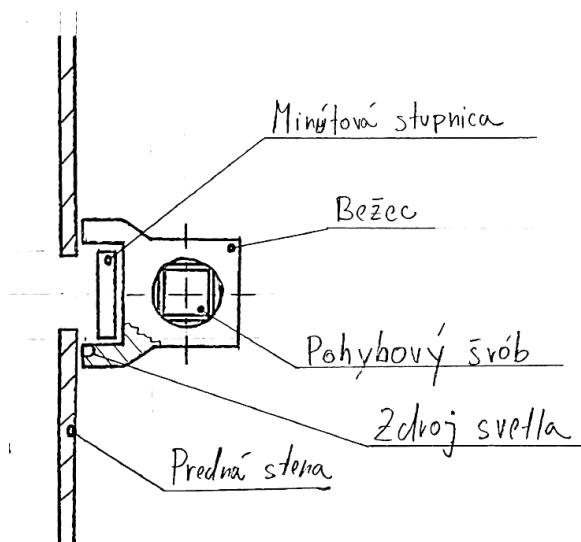
4.2 Konceptný návrh číslo 2

Konceptný návrh číslo 2 ponúka takmer úplne uzatvorenú konštrukciu, ktorej schránka je tvorená z dvoch častí: predná ciferníková časť a zadná krytová časť. Nevýhodou konštrukcie tohto konceptu je zadná časť, ktorá je tvorená ako celok. V prípade realizácie prostredníctvom 3D tlače, sú kľúčové rozmery tlačovej plochy tlačiarne. Ďalšou nevýhodou je menšia stupnica, ktorá je tiež závislá od rozmerov konštrukcie. Výhodou je možnosť vytvorenia jemného vzoru na zadnej krytovej časti, ktorý zviditeľní možnosti 3D tlače, oproti ostatným technológiám výroby a tiež ozvláštni vzhľad produktu. Ako vidíme na obrázku 4-4 hodinová stupnica je opäť tvorená binárnou stupnicou ako v konceptnom návrhu 1. Minútová stupnica ako je možné vidieť na obrázku 4-5, je uložená za prednou/ciferníkovou časťou a je osvetlená z vrchu a zospodu LED diódami, respektíve LED vláknami. Samotné alfanumerické znaky minútovej stupnice môžu byť tvorené plastom s pridaným fosforom, čo v tme vytvorí zaujímavý efekt, kedy hodnoty už uplynulých minút jemne svietia. Tento jav môže predstavovať plynutie času.



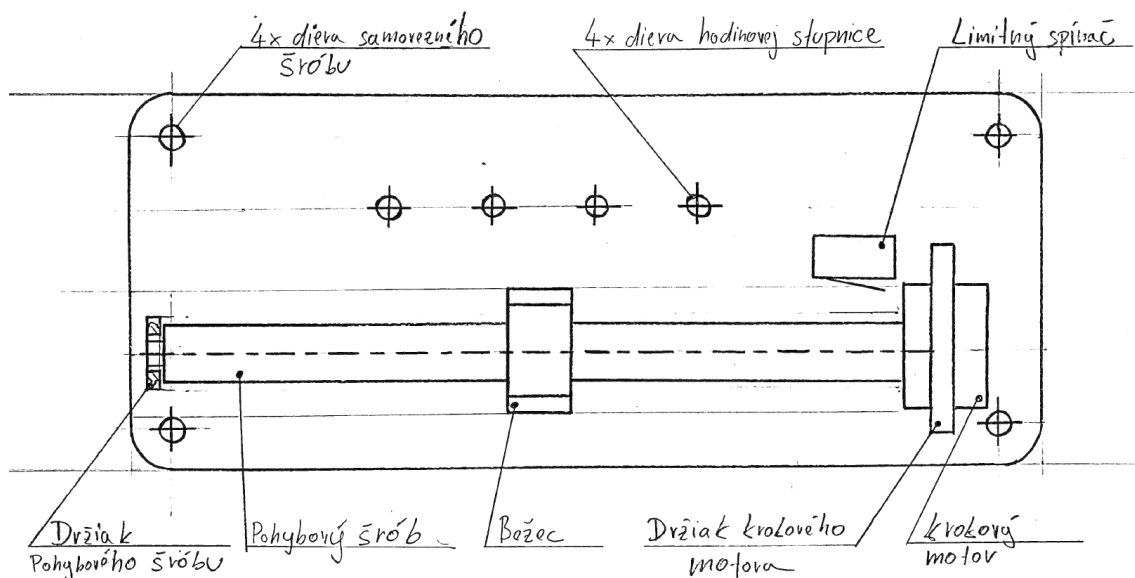
Obr. 4-4 Obrázok konceptu číslo 2, celkový pohľad.

Na obrázku 4-5 je zobrazený pohybový mechanizmus minútového ukazovateľa tvorený: pohybovým šróbom, bežcom a minútovou stupnicou. Pohybový šrób je tvorený štvorcovým prierezom, ktorý je obtočený po šróbovici, čo umožňuje jednoduché zhotovenie prostredníctvom 3D tlačne. Bežec v sebe obsahuje matku tohto pohybového šróbu a minútová stupnica slúži ako vodiaca lišta zabezpečujúca premenu rotačného pohybu na posuvný.



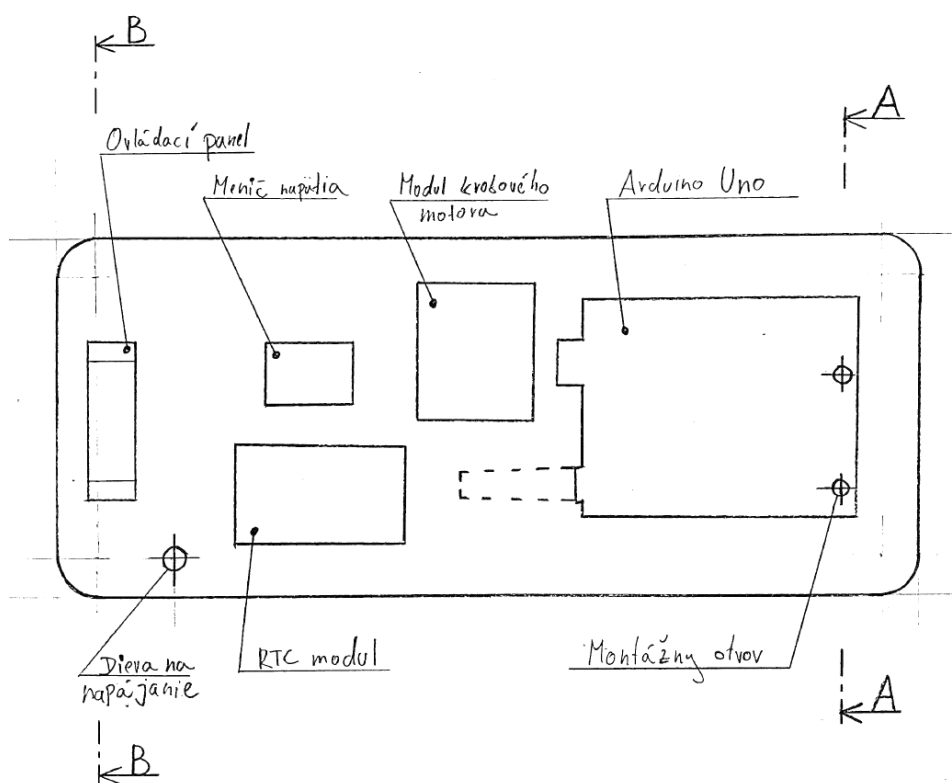
Obr. 4-5 Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na pohybový mechanizmus.

Obrázok 4-6 zobrazuje rozloženie komponentov na prednej strane pri pohľade zvnútra, tiež môžeme vidieť limitný spínač, ktorý plní dôležitú úlohu pri zapnutí hodín a pomáha krokovému motoru určiť počiatočnú polohu.



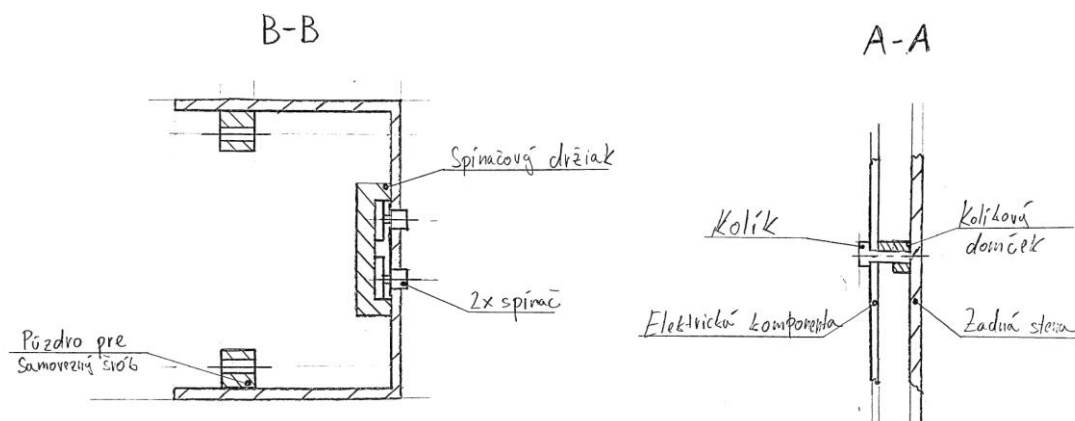
Obr. 4-6 Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na prednú stenu z vnútra.

Obrázok 4-7 zobrazuje umiestnenie komponentov v druhej časti schránky. Medzi komponentami vidíme aj RTC modul, ktorý zabezpečí informácie o aktuálnom čase, v prípade straty elektrického prúdu zo siete a umožní automatické nastavenie času na ciferníkoch po obnovení prúdu, bez zásahu človeka. Tiež obsahuje dieru na napájanie cez ktorú je vedený napájací vodič, nakoľko sú hodiny navrhnuté na napájanie zo siete.



Obr. 4-7 Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na zadnú stenu z vnútra.

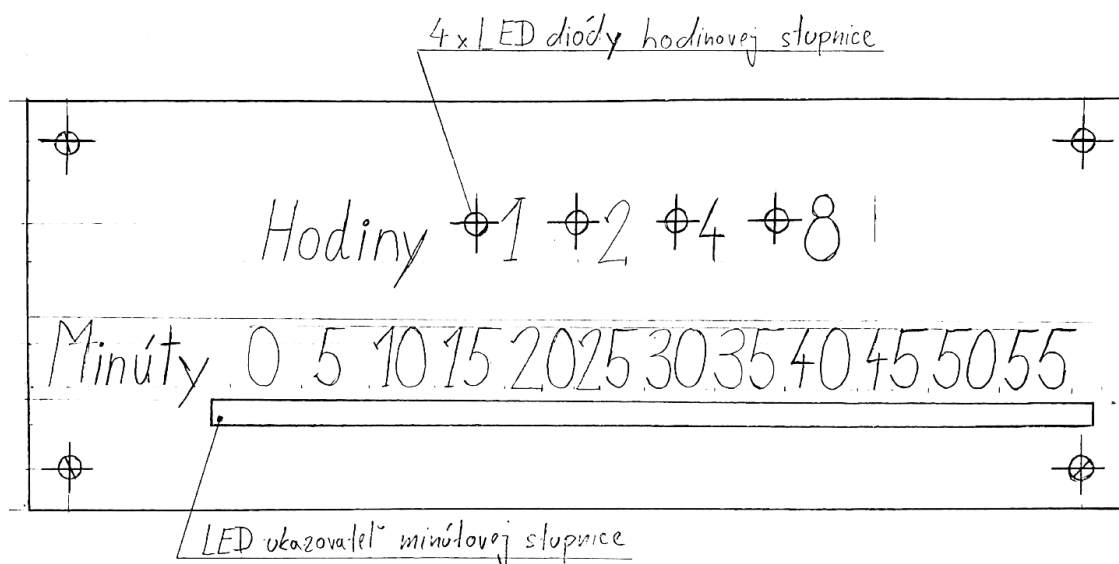
Na obrázku 4-8 vidíme rezy A-A a B-B, ktorých umiestnenie môžeme vidieť na obrázku 4-7. Rez A-A zobrazuje konštrukčné ukotvenie elektronických komponentov v malej vzdialenosti od zadnej steny schránky. Táto medzera je využitá na vedenie vodičov, čo umožní ich jednoduchší manažment. Rez B-B zobrazuje prevedenie ovládacieho panelu, ktorý slúži na nastavenie aktuálneho času na minútovej a hodinovej stupnici v prípade omeškania.



Obr. 4-8 Obrázok konceptu číslo 2, rezy A-A a B-B.

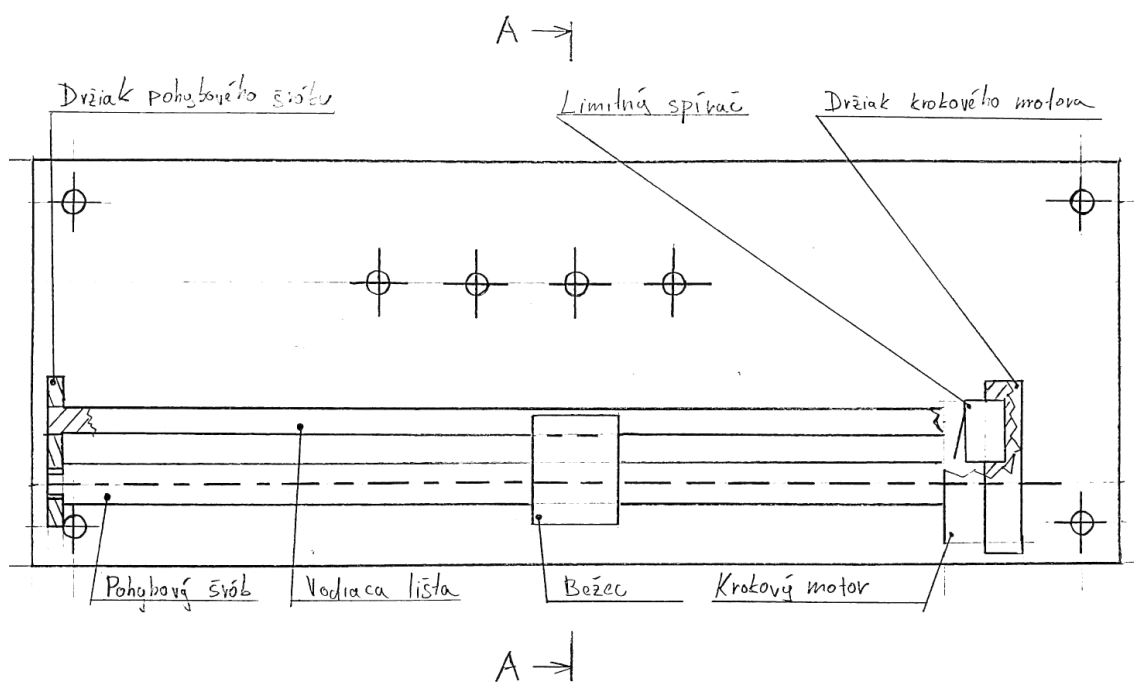
4.3 Konceptný návrh číslo 3

Konceptný návrh číslo 3 ponúka veľkú otvorenú konštrukciu vďaka ktorej je možné vidieť elektronické komponenty a pohybový mechanizmus umiestnený vo vnútri. Hlavnou výhodou je jednoduchá konštrukcia, umožňujúca zhotovenie prostredníctvom 3D tlačne. Ako vidíme na obrázku 4-9 hodiny obsahujú 2 stupnice. Hodinová stupnica je binárna ako v predchádzajúcich konceptoch, zatiaľ čo na minútovej stupnici je čas zobrazený prostredníctvom farebného ukazovateľa osvetleného LED diódami pod alfanumerickými znakmi. Ukazovateľ minútovej stupnice je tvorený tenkou vrstvou plastu, preto si môžeme vytvoriť akékoľvek farebné prevedenie podľa potreby.



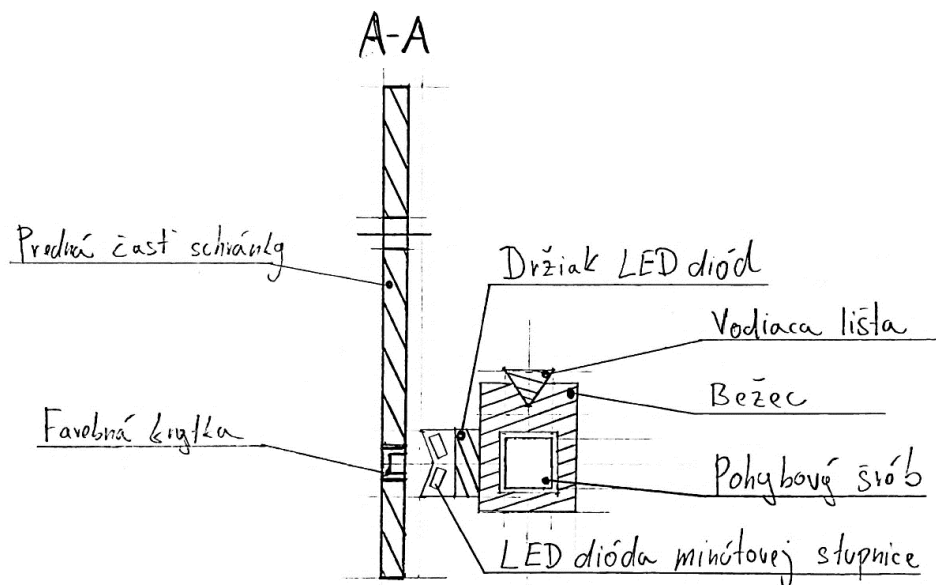
Obr. 4-9 Obrázok konceptu číslo 3, pohľad zvonku.

Obrázok 4-10 zobrazuje pohľad na prednú časť schránky z vnútornej strany, kde môžeme vidieť umiestnenie jednotlivých komponentov pohybového mechanizmu, ktorý zabezpečuje zobrazenie času na minútovej stupnici.



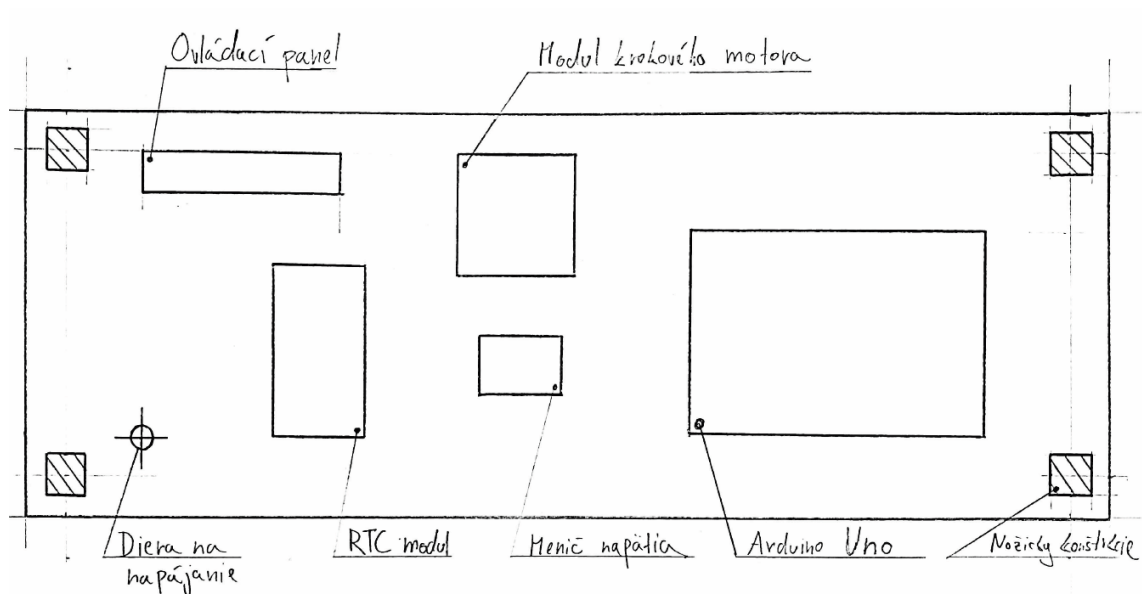
Obr. 4-10 Obrázok konceptu číslo 3, pohľad zvnútra.

Pohybový mechanizmus, zobrazený na obrázku 4-11, funguje na princípe lineárneho vedenia, pričom krokový motor slúži ako zdroj rotačného pohybu. Vygenerovaný rotačný pohyb je prenášaný do pohybového šróbu štvorcového prierezu, ktorý umožní ľahšie vytvorenie prostredníctvom 3D tlačne. Bežec obsahuje matku pohybového šróbu, ktorej zabráňuje v rotácii vodiaca lišta a zároveň slúži na premenu rotačného pohybu na posuvný. Bežec obsahuje na strane bližšie ku schránke hodin držiak LED diód v ktorom sa nachádzajú dve LED diódy vlákňového typu, zabezpečujúce osvetlenie farebnej krytky minútovej stupnice. Mechanizmus obsahuje aj limitný spínač, ktorý v prípade straty napájania pomáha určiť počiatočnú polohu minútovej stupnice.



Obr. 4-11 Obrázok konceptu číslo 3, pohľad rezu A-A.

Obrázok 4-12 zobrazuje umiestnenie elektronických komponentov a diery na napájanie zo siete. Prevedenie ovládacieho panelu a ukotvenie elektronických súčiastok je rovnaké ako v koncepčnom návrhu číslo 2. Obrázok 4-12 tiež obsahuje rezy štyrmi nožičkami konštrukcie, ktoré zabezpečia spojenie prednej a zadnej časti schránky. Predná časť je pripojená prostredníctvom štyroch šróbov a zadná pomocou lepeného spoja.



Obr. 4-12 Obrázok konceptu číslo 3, pohľad rezu A-A

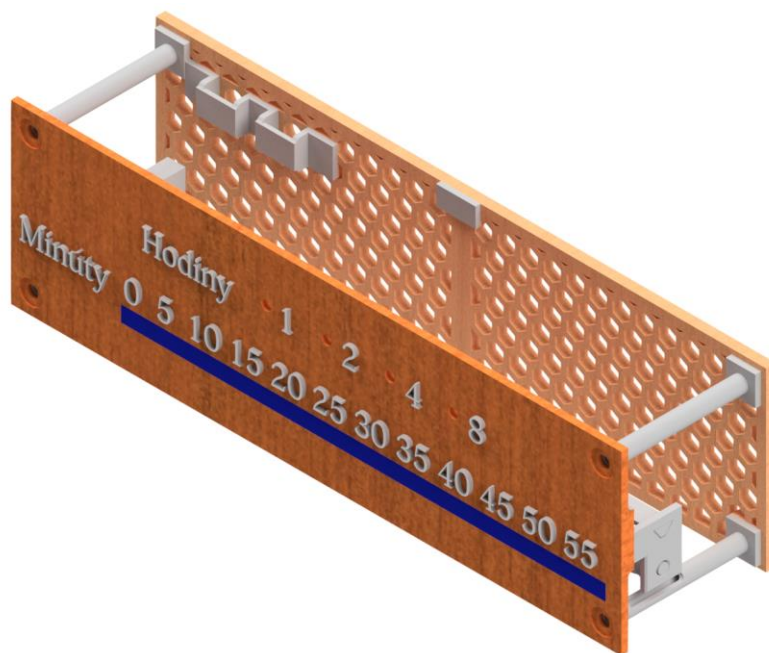
5 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

5.1 Výber konceptu

Spomenuté koncepčné návrhy vyššie majú rôzne výhody a nevýhody, pričom koncepčný návrh 2 a 3 sú si dosť podobné. V prípade koncepčného návrhu číslo 2 som bol silne limitovaný veľkosťou tlačovej plochy. Hlavný dôvod, prečo som sa rozhodol pre koncepčný návrh číslo tri je, že konštrukcia umožňuje veľké a jasne odčítateľné ciferníky, ktorých farebné prevedenie môžeme meniť podľa vlastného výberu. Spomínaný koncepčný návrh taktiež obsahuje otvorenú konštrukciu, ktorá umožňuje pohľad na vnútorné komponenty. Výhody ktoré prináša koncepčné riešenie číslo 3 boli pre mňa kľúčové, preto som sa ho rozhodol vypracovať ako konštrukčné riešenie a aj pre následnú realizáciu ako je možné vidieť na obrázku 5-1.

Hodiny sú navrhnuté s ohľadom na realizáciu prostredníctvom 3D tlače, čo umožní cenovo zaujímavé riešenie. Počas navrhovania hodín bol taktiež braný ohľad na formu realizácie, čo sa prejavilo v úprave jednotlivých dielov, aby bola zaručená funkčnosť. Použitie moderných technológií a ekologických tlačových materiálov, v našom prípade PLA, predstavuje aj dôraz na ekológiu pri navrhovaní nových produktov.

Použitie open-souce vývojovej dosky Arduino Uno, zabezpečuje jednoduchý a cenovo dostupný prístup k jednotlivým elektronickým komponentom, ktoré zabezpečujú fungovanie celého zariadenia a veľkú podporu v prípade úpravy vlastného prevedenia.



Obr. 5-1 Obrázok konštrukčného riešenia.

5.2 Výber elektronických súčastí

Zobrazenie aktuálneho času a správne fungovanie pohybového mechanizmu zabezpečujú elektronické komponenty. Výber jednotlivých komponentov závisel od rôznych parametrov ako napríklad rozmery, cena, výkon a iné. Zoznam použitých komponentov môžeme vidieť nižšie.

5.2.1 Programovacia doska Arduino Uno R3

Hlavným komponentom celého riadiaceho systému je práve programovacia doska Arduino Uno, ktorá bola zvolená z niekoľkých dôvodov. Doska obsahuje 14 digitálnych I/O pinov a 6 analógových, ktorých počet je dostačujúci na riadenie našich lineárnych hodín [27]. Veľkou výhodou je možnosť napájania prostredníctvom súosého napájacieho konektoru (barrel plug, viditeľný na obrázku 5-2) pri 7–16 V, čo umožní napájanie prostredníctvom 12 V adaptéru [27]. Jednoduchý programovací jazyk Wiring, priaznivá cena a absencia špeciálnych rozhraní typu HDMI, 3,5 mm jack a iné, ktoré nie sú potrebné v našej aplikácii boli ďalšími faktormi ktoré rozhodli v prospech tejto dosky. Rozmery dosky neboli rozhodujúci faktor. Navrhnutá konštrukcia disponuje s dostatkom voľného miesta.



Obr. 5-2 Obrázok vývojovej dosky Arduino Uno R3 [27].

5.2.2 RTC modul DS 1302

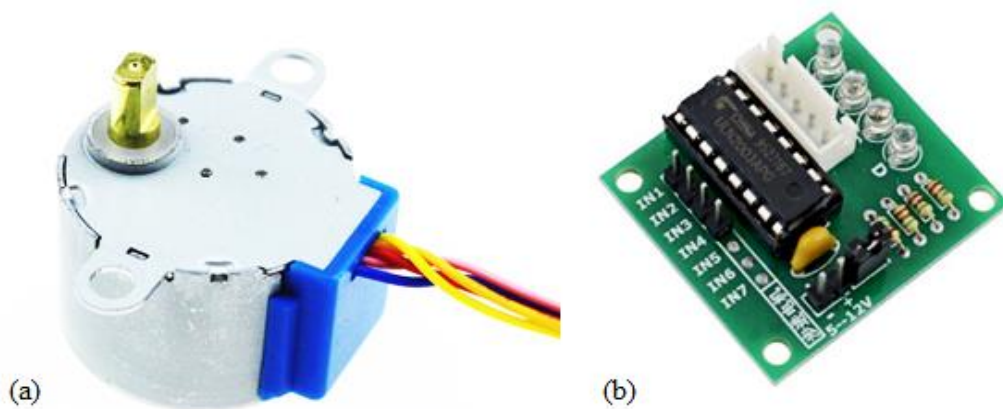
Hodinový modul DS1302 bol zvolený vďaka svojej nízkej cene, ktorá je spôsobená absenciou teplotného čidla, ktoré je zodpovedné za presnejšie určenie času, čo v našej aplikácii nie je až taký dôležitý faktor, nakoľko sa jedná o konštrukciu hodín s rozlíšiteľnosťou 5 minút [31]. Chybovosť modulu sa pohybuje ± 2 sekundy denne, pričom je závislá na vonkajších javoch ako napríklad teplota [31]. Modul funguje na princípe kremenného oscilátora ako som už popisoval vyššie. Modul je napájaný prostredníctvom pinov zabudovaných na doske pri hodnotách napätia 3,3–5 V, a v prípade odpojenia od zdroja napájania prívod energie zaobstará batéria typu CR2032, ktorá je osadená priamo v module ako môžeme vidieť na obrázku 5-3. V prípade použitia batérie je hodnota prúdu potrebná na fungovanie modulu 300 mA a modul je schopný okrem sekúnd, minút, hodín a dní v mesiaci počítať aj roky, konkrétne do roku 2100 [31].



Obr. 5-3 Obrázok RTC modulu DS 1302 [31].

5.2.3 Krokový motor 28BYJ-48:

Ako zdroj pohybu navrhnutého pohybového mechanizmu bude použitý krokový motor typu 28BYJ-48, ktorý disponuje točivým momentom približne $34,3 \text{ mN} \times \text{m}$ a uhlom kroku $5,625^\circ/64$ [27]. Krokový motor je možné vidieť na obrázku 5-4 (a), a na obrázku 5-4 (b) vidíme modul krokového motora ktorý je zodpovedný za generovanie elektrických signálov prostredníctvom ktorých je krokový motor ovládaný. Spomínaný typ krokového motora bol vybratý na základe malých rozmerov ktoré dosahujú hodnôt $\varnothing 28 \times 19 \text{ mm}$ [32].



Obr. 5-4 Obrázok zdroja pohybu; (a) krokový motor [33]; (b) modulu na ovládanie [27].

5.2.4 Menič napätia s MP1584EN

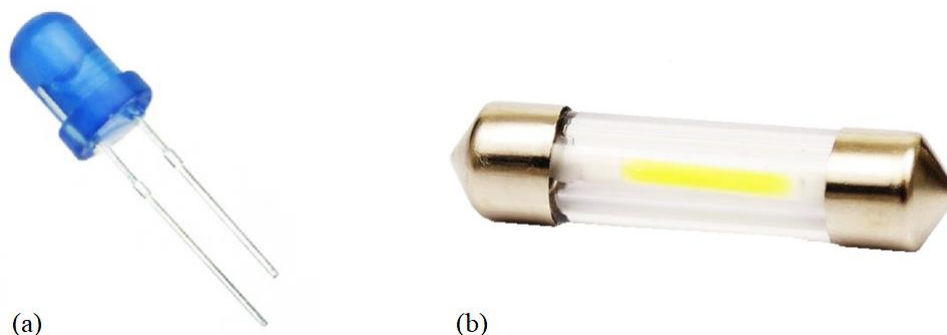
Aby som sa vyhol poškodeniu vývojovej dosky Arduino Uno, z dôvodu veľkého odoberaného prúdu z 5 V pinu, použijem menič napätia, prostredníctvom ktorého bude napájaný krokový motor. Na obrázku 5-5 je možné vidieť použitý menič napätia ktorý umožňuje reguláciu v rozsahu 0,8–20 V, v prípade privádzaného napätia 4,5–28 V [31]. Výstupný prúd môže dosahovať hodnôt až 2 A, pričom krokový motor by nemal presiahnuť hodnotu 250 mA [32], [33]. Kľúčovými parametrami pri výbere bola nízka cena a kompaktné rozmery ktoré dosahujú hodnôt $22 \times 17 \times 4$ mm [33].



Obr. 5-5 Obrázok meniča napätia [33].

5.2.5 LED diódy

V navrhnutom konštrukčnom riešení pracujem s dvoma typmi LED diód. Prvým typom sú LED diódy vláknového typu vyobrazené na obrázku 5-6 (b) ktoré zabezpečujú osvetlenie minútovej stupnice. Tieto LED diódy sú napájané priamo zo zdroja napájania a to napätím 12 V. Druhým typom sú diódy, ktoré zabezpečujú osvetlenie hodinovej stupnice obrázok 5-6 (a). Tieto LED diódy sú zapájané sériovo s rezistorom, aby nedošlo k preťaženiu pinov na doske Arduino Uno.

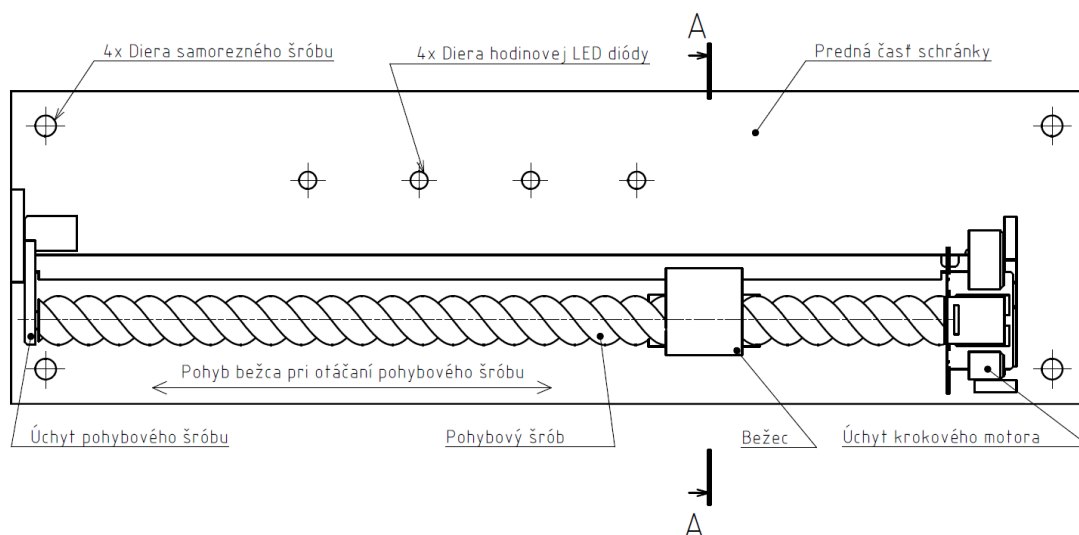


Obr. 5-6 Obrázok použitých LED diód; (a) hodinovej stupnice [33]; (b) minútovej stupnice [34].

Okrem spomenutých elektronických komponentov som použil aj jednopoložové a limitné spínače inak nazývané aj spínače s pákovým mechanizmom. Oba typy spínačov už boli spomenuté vyššie. Ako zdroj napájania som použil adaptér s napätím 12 V a výkonom 12 W.

5.3 Popis fungovania konštrukčného riešenia

Ako môžeme vidieť na obrázku 5-1 rozhodol som sa pre konštrukčné riešenie ktoré obsahuje binárnu hodinovú stupnicu osvetlenú prostredníctvom štyroch modrých LED diód. Minútová stupnica je osvetlená prostredníctvom dvoch bielych LED diód vláknového typu, ktoré sa nachádzajú za farebnou krytkou vyrobenou z modrého plastu, čo spôsobí zafarbenie prechádzajúceho svetla. Pohybový mechanizmus funguje na princípe lineárneho vedenia, kde krokový motor slúži ako zdroj pohybu. Krokový motor prenáša rotačný pohyb do pohybového šróbu prostredníctvom tvarového spoja. Vodiaca lišta spolu s bežcom zabezpečuje premenu rotačného pohybu na posuvný, čo sa prejaví ako posuvný pohyb v smere šípok toto vidíme na obrázku 5-7.

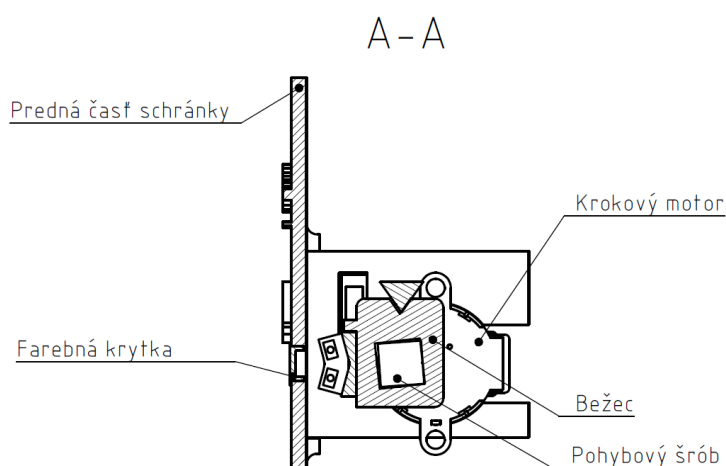


Obr. 5-7 Obrázok popisujúci fungovanie konštrukčného riešenia.

5.4 Návrh konštrukcie a jednotlivých súčastí

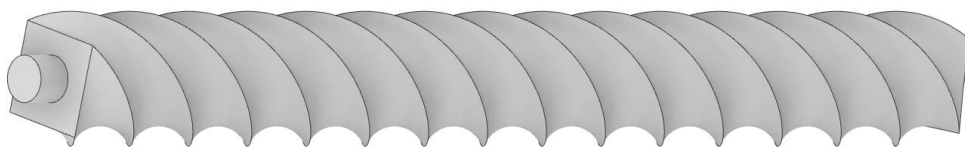
5.4.1 Návrh pohybového mechanizmu

Pohybový mechanizmus bol navrhnutý s dôrazom na spôsob realizácie, preto má pohybový šrób štvorcový prierez, ako je zobrazené na obrázku 5-8 ktorý je rezom A-A z obrázku 5-7. Štvorcový prierez je obtočený prostredníctvom šróbovice, ktorá dokončí jednu otáčku na vzdialenosti 35 mm. Dĺžka strany štvorca na šróbe je 10 mm a matica je vytvorená v bežci s dĺžkou hrany štvorca 10,5 mm. Vzniknutá vôľa zabezpečuje plynulý chod pohybového mechanizmu.



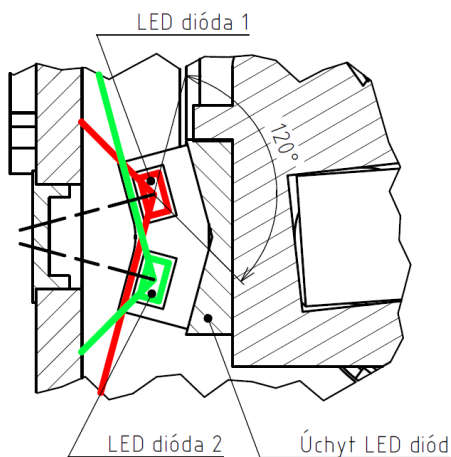
Obr. 5-8 Obrázok rezu A-A vychádzajúci z obrázku 5-7.

Obrázok 5-9 zobrazuje 3D model pohybového šróbu použitého v pohybovom mechanizme. Na konci pohybového šróbu sa nachádza spojovací kolík, ktorého funkcia je opísaná nižšie.



Obr. 5-9 Obrázok zobrazujúci 3D model pohybového šróbu.

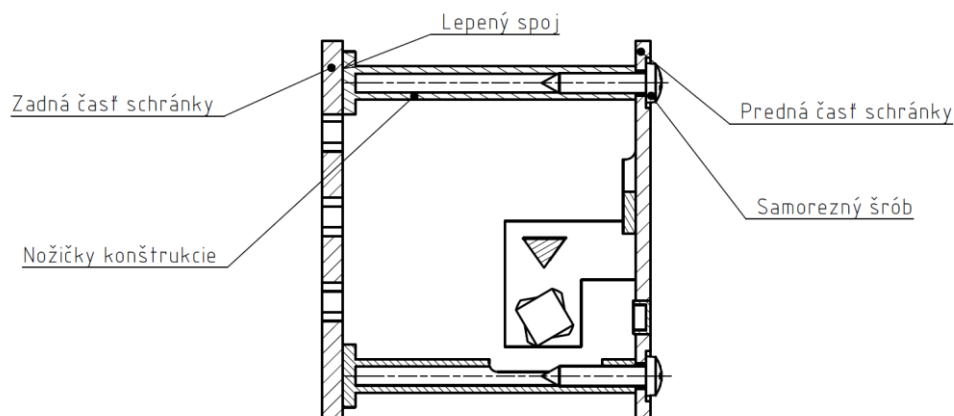
Pri návrhu úchytu LED diód som vychádzal z parametrov od výrobcu ktorý garantuje, že LED diódy disponujú s uhlom svietenia o veľkosti 120° [34]. Ako je možné vidieť na obrázku 5-10 diódy sú umiestnené tak, aby čo najviac svetla prechádzalo cez farebnú krytku, čo umožní zreteľnejšie odčítanie minútovej stupnice.



Obr. 5-10 Obrázok zobrazujúci návrh úchytu LED diód.

5.4.2 Spojenie prednej a zadnej časti schránky

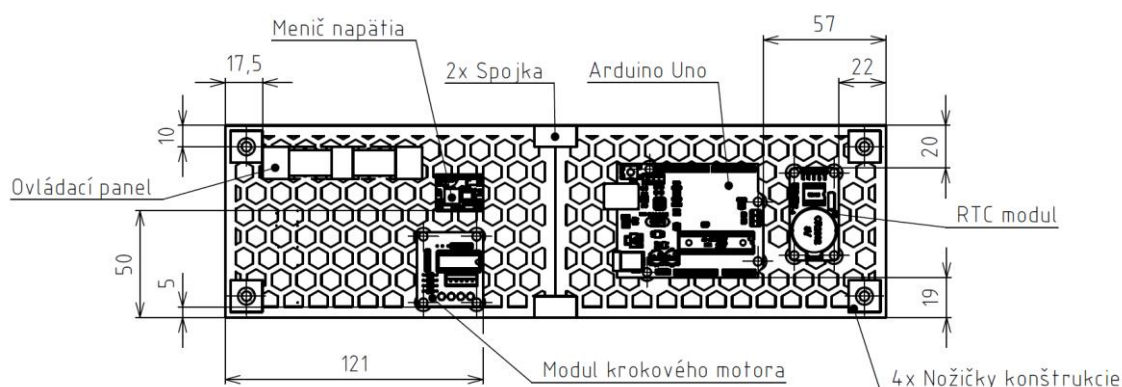
Medzi prednou a zadnou časťou schránky sa nachádzajú nožičky konštrukcie, ktoré vymedzujú vzdialenosť medzi jednotlivými časťami schránky. Predná časť schránky je pripojená prostredníctvom štyroch samorezných šróbov, a zadná časť cez lepený spoj ako je možné vidieť na obrázku 5-11.



Obr. 5-11 Obrázok zobrazujúci spojenie prednej a zadnej časti schránky.

5.4.3 Rozloženie elektronických komponentov

Obrázok 5-12 zobrazuje umiestnenie elektronických komponentov vrátane ich polohy. Na obrázku sa nachádzajú 2 spojky, ktoré zabezpečujú spojenie zadnej časti schránky nakoľko bola tvorená z dvoch častí, z dôvodu veľkých rozmerov a komplikovaného tvaru.



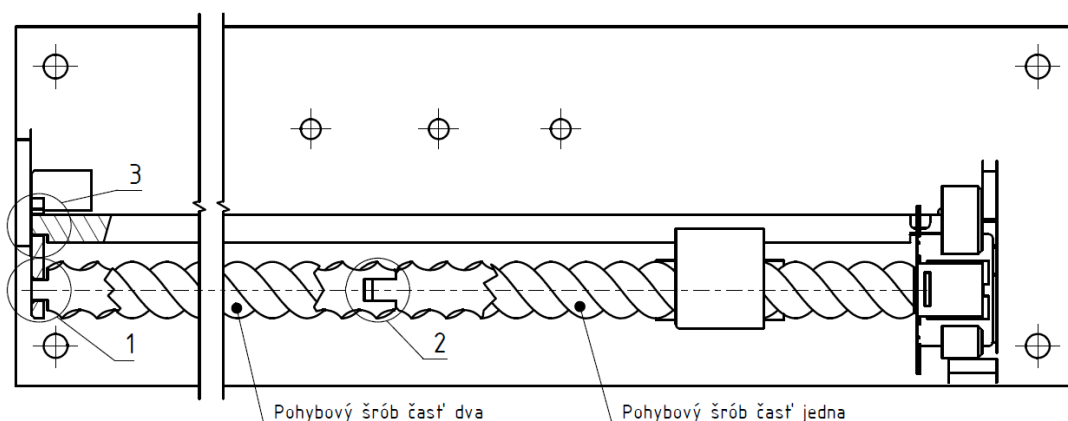
Obr. 5-12 Obrázok zobrazujúci komponenty na zadnej časti schránky.

5.5 Technologické úpravy

Na realizáciu modelu lineárnych hodín použijem technológiu 3D tlače, ktorá vyžaduje malé technologické úpravy. Počas navrhovania jednotlivých dielov som zohľadňoval funkciu, ale aj možnosti 3D tlačiarne. V našom prípade bola použitá 3D tlačiarne od firmy Creality s tlačovým priestorom $235 \times 235 \times 250$ mm a minimálnou výškou vrstvy 0,1 mm.

5.5.1 Realizácia pohybového mechanizmu

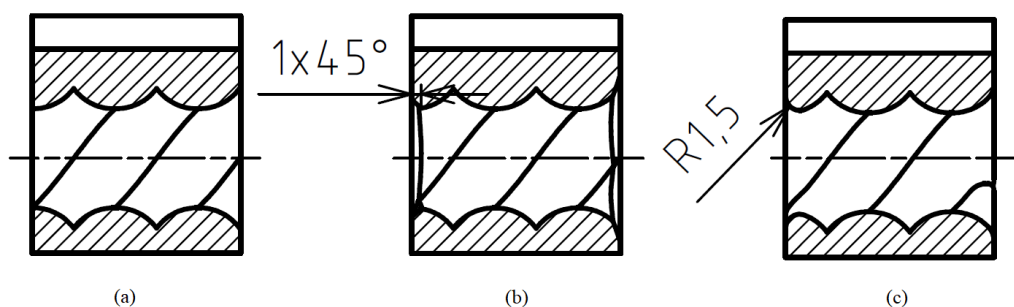
Pri tvorbe pohybového mechanizmu bolo potrebné zabezpečiť správnu funkciu a neprerušovaný chod. Na pohybovom šróbe sa nachádzajú tri kritické miesta, môžeme to vidieť na obrázku 5-13. Miesto s označením číslo jedna, kde dochádza k ukotveniu pohybového šróbu k rámu pohybového mechanizmu. Aby bol dosiahnutý plynulý chod, zvolil som dieru s rozmerom $\varnothing 5,5$ mm a hriadeľ na šróbe s rozmerom $\varnothing 5$ mm. Vzniknutá vôľa zabezpečila aj po realizácii voľné otáčanie pohybového šróbu. Miesto s označením číslo dva obsahuje nevyhnutný spoj na pohybovom šróbe nakoľko som bol limitovaný tlačovými rozmermi 3D tlačiarne. Pohybový šrób meria na dĺžku 265 mm, čo znamená, že som vytlačil dve časti ktoré boli následne prostredníctvom lepeného spoja zmontované dohromady. Hriadeľ v časti jedna má rozmery $\varnothing 5,4$ mm a diera v časti dva je $\varnothing 5,5$ mm, vzniknutá vôľa zabezpečuje jednoduché zapadnutie súčastí. Miesto s označením číslo 3 na obrázku 5-13 predstavuje spojenie vodiacej lišty s držiakom pohybového šróbu. V tomto mieste bol navrhnutý lisovaný spoj s vôľou o veľkosti 0,3 mm medzi všetkými plochami. Dôvod prečo pri niektorých spojoch s rovnakou funkciou je použitá iná vôľa je možné vidieť v tabuľke 5-1, nakoľko som použili rôzne výšky vrstvy.



Obr. 5-13 Obrázok vyznačujúci kritické miesta na pohybovom šróbe.

5.5.2 Optimalizácia bežca

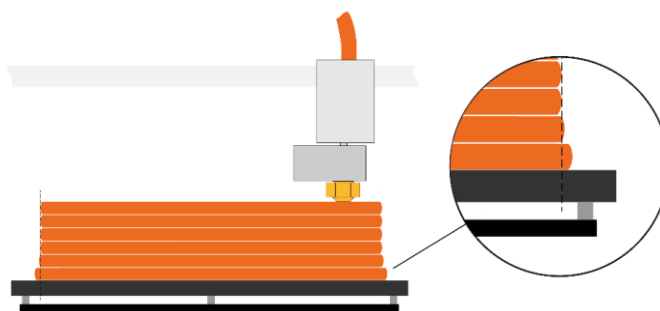
Ako už bolo spomenuté vyššie pohybový šrób vznikol spojením dvoch súčastí, čo zapríčinilo narušenie jeho povrchu. Pre správne fungovanie minútovej stupnice je nevyhnutný plynulý pohyb bežca, ktorý sa na spoji pohybového šróbu zasekával. Pre zlepšenie prejazdových vlastností bolo využité skosenie o veľkosti $1 \times 45^\circ$, viditeľné na obrázku 5-14 (b), ktoré ale neprinieslo žiadany výsledok. Poslednou a najvhodnejšou úpravou bolo zaoblenie s rádiusom o veľkosti 1,5 mm ako vidieť aj na obrázku 5-14 (c). Obrázok 5-14 (a) zobrazuje bežec pred optimalizáciou.



Obr. 5-14 Obrázok optimalizácie bežca; (a) pred optimalizáciou; (b) optimalizácia skosením $1 \times 45^\circ$; (c) optimalizácia zaoblením R1,5.

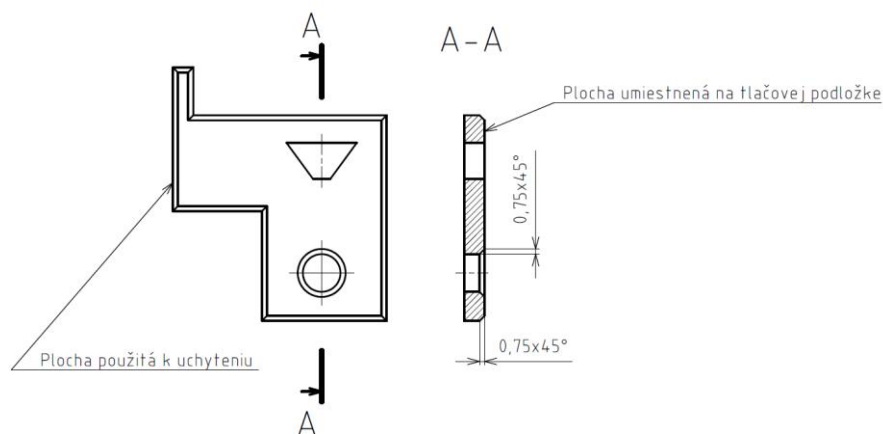
5.5.3 Skosenie dosadacích plôch

Realizácia prostredníctvom 3D tlače okrem problémov so zmenou rozmerov na vytlačenej súčasti má ešte jeden nedostatok, ktorý sa často objavuje pri prvej vrstve a nazýva sa slonia noha. Jedná sa o jav, ktorý zobrazuje obrázok 5-15, kedy prvá resp. pár spodných vrstiev nachádzajúcich sa blízko pri podložke má po zhotovení väčšie rozmery ako sme očakávali. Ja som sa u niektorých súčastí snažil spomínanému javu vyhnúť, keďže by mohol spôsobiť nemožnosť zmontovania, alebo nedokonalosť lepených spojov.



Obr. 5-15 Obrázok zobrazujúci efekt slonej nohy [35].

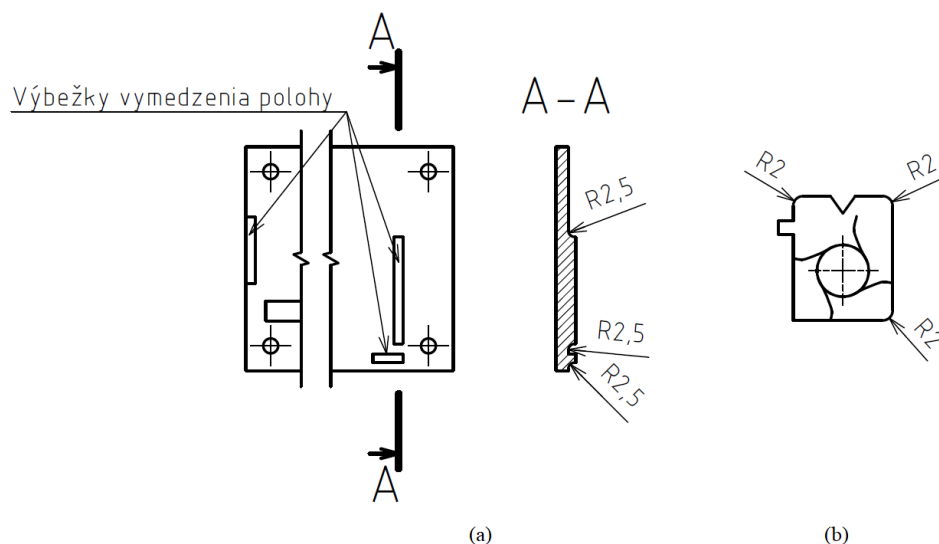
Spomínaný efekt slonej nohy sme na úchyte motora a úchyte pohybového šróbu riešil prostredníctvom skosenia o veľkosti $0,75 \times 45^\circ$. Na obrázku 5-16 vidíme, že skosenie bolo využité na hrane, ktorá bude použitá k uchyteniu na prednú časť schránky a hrane otvoru, ktorý slúži na uchytenie pohybového šróbu.



Obr. 5-16 Obrázok zobrazujúci skosenie na hranách úchytu.

5.5.4 Zaoblenie

Na modeli sa nachádzajú dva druhy zaoblenia, ktoré boli vytvorené pre lepšiu kvalitu tlače. Prvý typ zaoblenia ktorý vidíme na obrázku 5-17 (a) dopomáha, aby pri tlači vznikli kvalitnejšie hrany. Spomínaný typ zaoblenia nie je nevyhnutný, ale dopomáha ku vzhľadu jednotlivých súčastí a bol využitý pri hranách na bežci. Druhý typ zaoblenia ktorý som použil sa nachádza na obrázku 5-17 (b) a umožňuje tlač súčastí, ktoré obsahujú prevísajúce plochy bez použitia tlačových podpor, čo ušetrí čas a materiál počas našej realizácie. Spomínaný druhý typ zaoblenia bol využitý aj na prevísajúcich plochách výbežkov, ktoré slúžia na vymedzenie polohy pohybového mechanizmu.



Obr. 5-17 Obrázok zobrazujúci technologické zaoblenia; (a) zaoblenia na prednej časti schránky; (b) zaoblenia na bežci.

5.5.5 Parametre tlače

Pri realizácii modelu bolo použitých päť hlavných nastavení tlačiarne. Ich použitie a jednotlivé parametre tlače záviseli od funkcie a spôsobu využitia jednotlivých dielov. Všeobecne by sa dalo povedať, že sme všetky súčasti rozdelili do piatich skupín závislých na výške vrstvy ako je možné vidieť nižšie v tabuľke 5-1. Tabuľka obsahuje názov všetkých súčastí s rovnakými nastaveniami a taktiež kľúčové nastavenia ktoré boli použité pri realizácii.

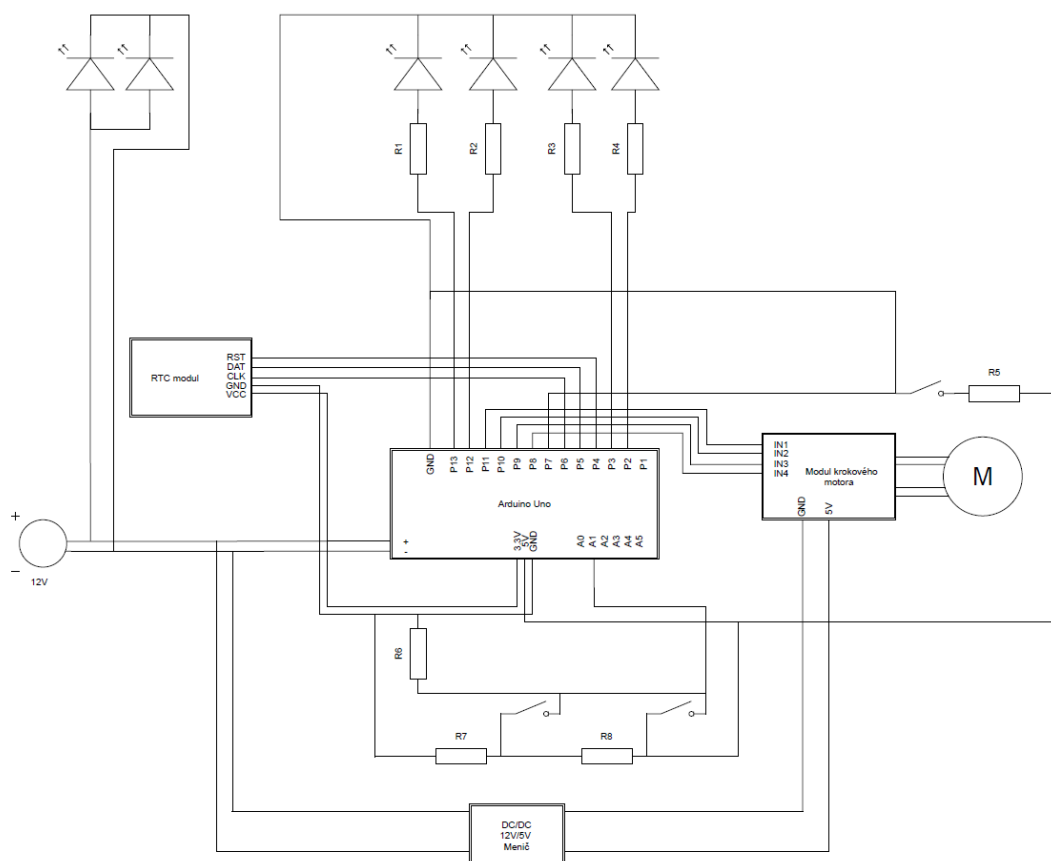
Tab. 5-1 Tabuľka použitých nastavení pri 3D tlači.

Názov súčasti	Výška vrstvi mm	Šírka vrstvi mm	Výplň %	Počet vrstiev steny	Materiál
Pohybový šrób,	0,1	0,3	15	3	PLA
Bežec	0,1	0,4	15	3	PLA
Číslice ciferníkov	0,15	0,3	15	3	PLA
Úchyt motora a pohybového šróbu, Ovládací panel, Spojky, Úchyty LED diód, Vodiaca lišta	0,2	0,4	15	3	PLA
Nožičky konštrukcie, Krytka spínačov, podstavce el. komponentov	0,3	0,4	15	3	PLA
Predná a zadná časť schránky	0,6	0,8	20	2	WOOD-PLA

Ako môžeme vidieť v tabuľke 5-1, pri tlači pohybového šróbu som použil šírku tlačovej linky 0,3 mm pre dosiahnutie čo najkvalitnejšej tlače, aby som sa vyhol nepravidelnému chodu celého mechanizmu. U číslic ciferníkov bola taktiež použitá šírka tlačovej linky 0,3 mm, ale z dôvodu tenkých oblastí na jednotlivých čísliciach. Všetky komponenty boli zhotovené prostredníctvom trysky s dierou o rozmeroch Ø 0,4 mm až na prednú a zadnú časť schránky, ktoré boli zhotovené prostredníctvom trysky s dierou o rozmeroch Ø 0,8 mm. Význam použitia trysky s dierou Ø 0,8 mm súvisí s použitím tlačového materiálu, čo bol v našom prípade WOOD-PLA. WOOD-PLA obsahuje malé častice dreva, ktoré pri použití trysky s menšou dierou spôsobovali jej upchatie. Taktiež pri použití spomínanej trysky som mohol tlačiť vrstvy s výškou 0,6 mm, čo skrátilo čas tlače nakoľko sa jedná o súčasti veľkých rozmerov.

5.6 Schéma zapojenia

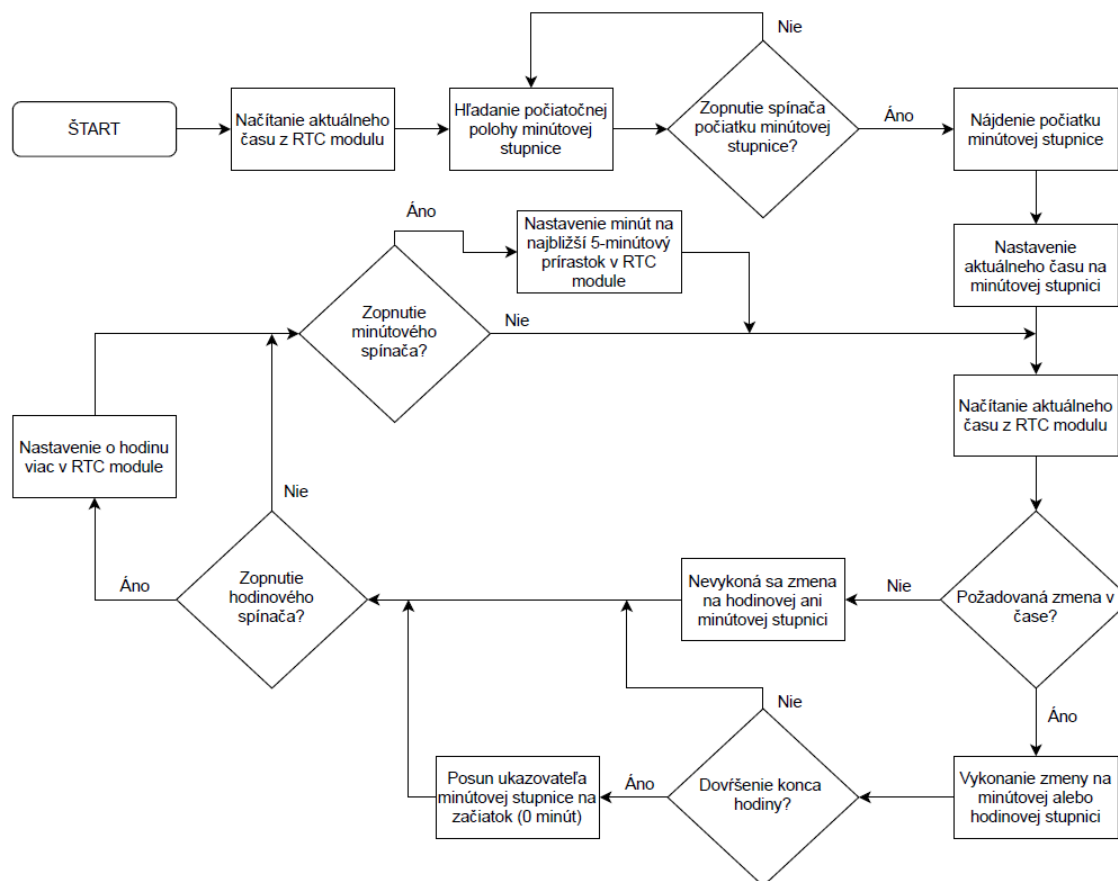
Obrázok 5-18 zobrazuje zapojenie elektrického obvodu, ktorý je zodpovedný za fungovanie hodín. Vo vrchnej časti obrázku 5-18 sa nachádzajú LED diódy, pričom LED diódami v ľavej časti osvetľujeme minútovú stupnicu a sú napájané 12 V priamo zo zdroja. V strede sa nachádzajú LED diódy hodinovej stupnice, ktoré sú zapojené sériovo s rezistormi R1, R2, R3 a R4, ktoré majú hodnotu 330 Ω . Rezistory zabezpečujú obmedzenie prúdu, aby nedošlo k poškodeniu pinov P2, P3, P12 a P13 na doske Arduino Uno. Piny P4, P5 a P6 som vyhradil pre RTC modul, ktorý je napájaný prostredníctvom pinu dodávajúcim 3,3 V. Krokový motor ktorý sa nachádza vpravo od modulu krokového motora umiestneného v pravej časti obrázka 5-18, je ovládaný prostredníctvom pinov P8, P9, P10 a P11. Získanie polohy krokového motora zabezpečuje limitný spínač, ktorý sa nachádza nad motorom a je zapojený sériovo s rezistorom R5 s hodnotou 1000 Ω . V spodnej časti schémy zapojenia sa nachádza ovládací panel, zhotovený z dvoch spínačov a dvoch rezistorov R7 a R8 s hodnotou 1000 Ω . Rezistor R6, taktiež s hodnotou 1000 Ω je zodpovedný za kratší čas regulácie a kratší čas odozvy na analógovom pine A1. Takýto typ zapojenia ovládacieho panelu umožňuje zapojenie viacerých spínačov do jedného pinu. Popísané zapojenie ovládacieho panelu som zvolil z dôvodu menšej náročnosti na zapojenie a počtu pinov. Modul krokového motora je napájaný prostredníctvom DC/DC meniča, aby nedošlo k preťaženiu pinov na Programovacej doske Arduino Uno.



Obr. 5-18 Obrázok zobrazujúci schému zapojenia elektrického obvodu.

5.7 Softvér a logická mapa kódu

Vytvorená logická mapa na obrázku 5-19, zjednodušene popisuje princíp fungovania softvéru, ktorý je použitý na riadenie hodín a celá jeho podoba sa nachádza v prílohe číslo 5. Logická mapa popisuje proces pri zapnutí, kedy je nevyhnutné nájsť počiatočnú polohu ukazovateľa minútovej stupnice. Taktiež popisuje proces korekcie času prostredníctvom spínačov nachádzajúcich sa na ovládacom paneli umiestnenom na zadnej časti schránky. V prípade stlačenia spínača pre nastavenie hodín sa na hodinovom ciferníku automaticky posunie čas o hodinu dopredu. Po zopnutí spínača pre nastavenie minút, minútový ciferník sa rozsvieti priamo pod najbližším päťminútovým prírastkom.



Obr. 5-19 Obrázok zobrazujúci logickú mapu kódu.

5.8 Časová a cenová bilancia výroby

V tabuľke 5-2 vidíme dobu tlače, hmotnosť jednotlivých súčastí spolu s podporami a taktiež odhadovanú cenu. Odhadovaná cena bola určená na základe dĺžky hmotnosti v prípade WOOD-PLA, a spotrebovaného materiálu v prípade PLA nakoľko som použil dva druhy tlačových materiálov. Materiál WOOD-PLA ktorého cena je 43,90 € za 750 g materiálu od firmy Timberfill. Druhý typ materiálu je PLA od firmy Devil design ktorého cena je 6,80 € za 330 g materiálu, dĺžka vlákna na cievke cca 110 m.

Tabuľka 5-3 zobrazuje nákupnú cenu jednotlivých elektronických komponentov a celkové produkčné náklady vrátane odhadnutej ceny tlačených dielov z 3D tlače. Samotná cena elektronických komponentov sa rovná sume 39,05 €.

Tab. 5-2 Tabuľka doby tlače, hmotnosti a odhadnutej ceny tlačených súčastí.

Názov súčasti	Doba tlače hod : min	Hmotnosť g	Odhadnutá cena použitého materiálu €
Predná časť schránky	3 : 41	110	6,44
Číslice ciferníkov	1 : 05	3	0,06
Zadná časť schránky	3 : 17	85	4,98
Nožičky schránky (4x)	2 : 36	14	0,29
Spojka zadnej časti schránky (2x)	0 : 08	1	0,02
Ovládací panel	0 : 42	4	0,08
Krytka spínačov (2x)	0 : 05	1	0,02
Pohybový šrób	8 : 16	15	0,31
Bežec	1 : 39	6	0,12
Vodiaca lišta	1 : 09	7	0,14
Úchyty LED diód	0 : 24	3	0,06
Farebná krytka	0 : 46	4	0,08
Úchyty motora a pohybového šróbu	1 : 03	8	0,16
	0 : 22	2	0,04
Podstavce elektronických komponentov	1 : 35	7	0,14
Suma	26 : 48	270	12,94

Tab. 5-3 Tabuľka ceny elektronických komponentov a tlačných súčastí.

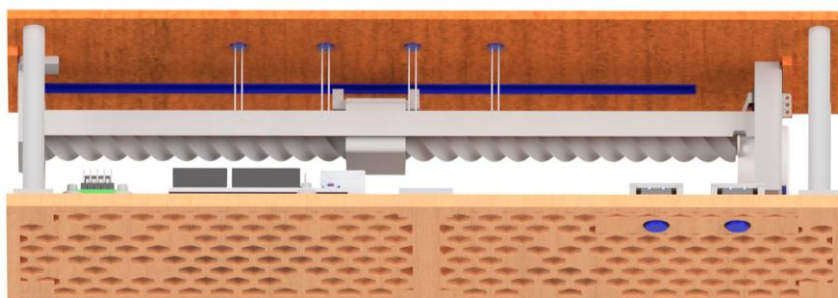
Názov komponenty	Počet kusov	Celková cena €
Tlačené diely	-----	12,94
Arduino Uno	1	24,22
Krokový motor	1	2,27
Modul krokového motora	1	0,94
Limitný spínač	1	0,86
Menič napätia	1	1,25
RTC modul	1	1,54
Jednopolohový spínač	2	0,52
LED dióda	4	0,16
LED dióda vlákňového typu	2	4,30
12 V adaptér	1	2,75
Rezistory	8	0,24
Celkom bez tlačných dielov	-----	39,05
Celkom	-----	51,99

5.9 3D model lineárnych hodín s LED digitálnou stupnicou

Obrázok 5-20 zobrazuje model lineárnych hodín vrátane komponentov z prednej stany. Na obrázku 5-21 vidíme zobrazený model zo zadnej strany.



Obr. 5-20 Obrázok zobrazujúci 3D model hodín z predeľ strany.



Obr. 5-21 Obrázok zobrazujúci 3D model hodín zo zadnej strany.

5.10 Zobrazenie vzorky po realizácii

Obrázok 5-22 zobrazuje funkčnú vzorku lineárnych hodín po realizácii. Hodiny zobrazujú čas 5 hodín a 15 minút.



Obr. 5-22 Obrázok zobrazujúci lineárne hodiny po realizácii.

6 DISKUSIA

V rámci tejto bakalárskej práce som navrhol a kompletne zrealizoval lineárne hodiny s LED digitálnou stupnicou. Hodiny sú navrhnuté s dôrazom na realizáciu, to znamená prostredníctvom 3D tlače. Najväčšou prednosťou navrhnutých hodín je priaznivá cena, ktorá sa pohybuje na zlomku komerčne dostupných modelov. Ďalšou výhodou je možnosť zhotovenia si navrhnutého modelu kompletne prostredníctvom 3D tlače, čo umožní vlastniť tieto hodiny veľkej skupine ľudí. Nedostatkom navrhutej verzie je zhoršená rozlíšiteľnosť minútovej stupnice. Zlepšenie by bolo možné vytvorením rebrovania priamo na farebnej krytke alebo použitím tienidiel na úchyte LED diód. Tienidlá by usmernili svetelný lúč do požadovanej oblasti.

Vďaka použitému tlačovému materiálu PLA som realizoval dostatočne kvalitné súčasti, ktoré umožňujú plynulý pohyb pohybového mechanizmu. Materiál WOOD-PLA použitý na prednú a zadnú časť schránky by bolo vhodné nahradiť inou alternatívou, ako napríklad PLA, ABS alebo PET. V prípade použitia ABS alebo PET by sa dala dosiahnuť priehľadná respektíve fluorescenčná konštrukcia. Nahradenie WOOD-PLA iným materiálom by znížilo cenu realizácie, nakoľko súčasti tlačené týmto materiálom sú niekoľkonásobne drahšie ako ostatné súčasti. Treba poznamenať, že materiál WOOD-PLA dodáva konštrukcii drevený vzhľad a je biologicky odbúrateľný.

V prípade návrhu konštrukcie väčších rozmerov, by bolo vhodnejšie použiť na vytvorenie súčastí schránky odlišnú technológiu, napríklad laserového vyrezávania. Navrhovaná technológia by niekoľkonásobne skrátila čas výroby a odstránila problém s maximálnymi rozmermi tlačovej plochy tlačiarne. Navrhovaná technológia by umožnila vytvorenie zaujímavého vzhľadu, keďže lineárne hodiny sa často používajú ako dizajnový doplnok do domácnosti.

V prípade potreby dosiahnutia vyššej presnosti času, by bolo potrebné vylepšiť aj rozlišovaciu schopnosť minútovej stupnice. Pri použití minútovej stupnice s rozlišovacou schopnosťou jednej minúty, by bolo vhodné použiť drahší model RTC modulu, ktorý dosahuje väčšiu presnosť alebo proces automatickej aktualizácie času. Dosiahnutie takejto aktualizácie by bolo možné prostredníctvom programovacej dosky so zabudovaným Wi-Fi modulom, ako je napríklad Arduino Uno WiFi Rev2, alebo prostredníctvom pripojenia Wi-Fi modulu.

Celkové rozmery modelu dosahujú $310 \times 90 \times 93,75$ mm. Aj keď bolo vynaložené čo najväčšie úsilie vytvoriť čo najprehľadnejšie ciferníky, je možné ich naďalej vylepšovať a to hlavne v prípade minútovej stupnice. Jednou z možností by bolo zväčšenie schránky hodín, čo by ale vyžadovalo zmeniť typ technológie z dôvodu produkčných nákladov. Taktiež by bolo možné znížiť intenzitu osvetlenia v istých časových obdobiach dňa, aby sa predišlo neželanému svetelnému zaťaženiu na organizmus, napríklad počas spánku.

Vďaka použitiu open-source softvéru a dostupných elektronických komponentov je prispôsobenie si jednotlivých súčastí jednoduché. V prípade, ak by sa realizoval model po spustení predaja vývojovej dosky Raspberry Pi Pico, bolo by vhodné nahradiť teraz použitú vývojovú dosku, spomenutou nakoľko má omnoho priaznivejšiu cenu, ako som už uviedol.

Napriek skutočnosti, že sa jedná o prototyp lineárnych hodín s LED digitálnou stupnicou si myslím, že by konštrukčné riešenie s malými úpravami obstálo pri procese tvorby komerčného riešenia. Jedným z dôvodov úspechu je nízka produkčná cena 52 €. Najkritickejšou časťou by bol pravdepodobne pohybový mechanizmus, ktorý by z dôvodu zjednodušenia výroby mohol byť nahradený remeňovým pohonom, alebo veľkým počtom LED diód ktoré by boli upevnené v schránke a aktuálny počet minút by bol zobrazovaný prostredníctvom rozsvietenia LED diód priamo pod alfanumerickými znakmi. Možnosť ušetrenia produkčných nákladov, vidím v prípade výmeny vývojovej dosky Arduino Uno za vhodne navrhnutú dosku plošných spojov. Takouto doskou by bolo možné zmenšiť celkové rozmery produktu. V prípade tvorby schráky, by bolo vhodné nahradiť použitú konštrukciu. Nakoľko sa elektronika s priehľadným krytovaním v minulosti neosvedčila, priklonil by som sa ku schránke tvorenej vstrekováním plastov alebo hliníkom, čo by navodilo pocit luxusu.

7 ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zoberala návrhom a následnou realizáciou lineárnych hodín s LED digitálnou stupnicou. V úvode rešerše bola objasnená história merania času a prehľad konštrukčných riešení na základe dostupných patentov spolu s popisom elektronických komponentov, ktoré sa dnes používajú pri tvorbe lineárnych hodín. Následne bolo navrhnutých niekoľko koncepčných riešení, z ktorých bolo jedno zvolené, rozpracované a zrealizované prostredníctvom 3D tlače.

Hlavným cieľom tejto práce bol konštrukčný návrh a následná realizácia funkčnej vzorky lineárnych hodín prostredníctvom použitia 3D tlače, riadenej pomocou Arduino Uno, s digitálnou stupnicou osvetlenou prostredníctvom ukazovateľov využívajúcich LED technológiu. Cieľ bol splnený, o čom svedčí i funkčný vyrobený model.

Navrhnutá konštrukcia lineárnych hodín ponúka otvorenú konštrukciu, ktorá umožňuje pohľad na vnútorné komponenty. Ďalšou výhodou je prispôsobenie na realizáciu prostredníctvom 3D tlače, čo umožňuje zhotovenie modelu s nízkymi produkčnými nákladmi, ktoré sa pohybujú na úrovni 52 €. Cena navrhnutého modelu je omnoho nižšia ako dostupné komerčné riešenia, ktorých cena sa pohybuje na úrovni niekoľko stoviek eur.

Stupnica na lineárnych hodinách je vytvorená s rozlíšiteľnosťou piatich minút, čo je dostačujúce vzhľadom na využitie, nakoľko sa lineárne hodiny často využívajú ako módný doplnok do domácnosti.

Na záver bola vypracovaná výkresová dokumentácia zostavy, dvoch súčastí pohybového mechanizmu a úchytu ovládacieho panelu. Taktiež bol navrhnutý a vytvorený program v programovacom jazyku Wiring, ktorý je zodpovedný za riadenie všetkých komponentov navrhnutých lineárnych hodín.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. MICHAL, Stanislav. Hodiny: (od gnómonu k atomovým hodinám). Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:ad028c10-fff2-11e2-9923-005056827e52>
2. KYNČL, Radko. Hodiny a hodinky. Praha: Aventinum, 2008. ISBN 978-80-86858-70-8. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:6183b9d0-059b-11e4-9789-005056827e52>
3. SCHNEIDER, Rudolf. Přesný čas: hodiny a hodinky. Praha: ČSAV, 1956. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:fb8bbdd0-30c5-11e8-8cf8-005056827e52>
4. Hodiny. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Hodiny>
5. Analog and digital. Explainthatstuff.com [online]. 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/analog-and-digital.html#analog>
6. MOLINE, D., J. WAGNER a E. VOLK. Model of a mechanical clock escapement. American Journal of Physics. 2012, 80(7), 599-606. DOI: 10.1119/1.4705517. ISSN 0002-9505
7. Quartz clocks and watches. Explainthatstuff.com [online]. 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/quartzclockwatch.html>
8. How a quartz watch works [online]. 2010 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=1pM6uD8nePo&ab_channel=engineerguy
9. How a quartz watch works - its heart beats 32,768 times a second [online]. 2019 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_2By2ane2I4&ab_channel=SteveMould
10. Radio-controlled and atomic clocks. Explainthatstuff.com [online]. 2021 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/howradiocontrolledclockswork.html>
11. Linear clock [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US3587222A/en?q=linear+clock>
12. Mechanism of linear clocks [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US2333832A/en?inventor=Torroja+Juan+Maria>
13. Linear time column [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US3574992A/en?q=linear+clock>
14. Clock having a linear array of graduations and light bands indicating hours, minutes, and seconds [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US20060256663?q=linear+clock>

15. Time indicating device [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US3956879A/en?q=linear+clock>
16. Twenty-four-hour clock [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US1676030?q=linear+clock>
17. LINEARclockworks [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://linearclockworks.com/>
18. Arduino Official Store [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/>
19. ThePiHut: How do I power my Arduino? [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://thepihut.com/blogs/raspberry-pi-tutorials/how-do-i-power-my-arduino>
20. RPishop.cz: Elektronické komponenty [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/>
21. DATASHEET: Raspberry Pi 4 Model B [online]. 2019 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2711/rpi_DATA_2711_1p0_preliminary.pdf
22. DATASHEET: Raspberry Pi Model A+ [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://docs.rs-online.com/473d/0900766b81527cd2.pdf>
23. HWkitchen.cz: Elektronické komponenty [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/>
24. Create.arduino.cc/projecthub: Hodiny na servo [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://create.arduino.cc/projecthub/garysat/servo-clock-with-digital-display-66f9fa?ref=tag&ref_id=clocks&offset=192
25. Instructables.com: Linear Clock (MVMT 113) [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Perpetual-Clock-With-Arduino/>
26. How to mechatronics: How a Stepper Motor Works [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/stepper-motor/>
27. Elektronické súčiastky: GM electronic [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/>
28. How to mechatronics: How Servo Motor Works & How To Control Servos using Arduino [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>
29. Elektronické súčiastky: TME electronic components [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/sk/>
30. WAYBACKMACHINE: 7-segment displays [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120105025754/http://www.sentex.ca/~mec1995/tutoria1/7seg/7seg.html>

31. Elektronické súčiastky: Techfun.sk [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://techfun.sk/>
32. Last Minute ENGINEERS: Control 28BYJ-48 Stepper Motor with ULN2003 Driver & Arduino [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/28byj48-stepper-motor-arduino-tutorial/>
33. Elektronické súčiastky: laskarduino.cz [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/>
34. 12 V LED dióda: smdledziarovky.sk [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.smdledziarovky.sk/auto.led/c5w.c10w/led.auto.ziarovka.31mm.c5w.cob.1w.filament>
35. PRUSAKNOWLEDGEBASE: Elephant foot compensation [online]. 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/en/article/elephant-foot-compensation_114487

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

<i>3D</i>	trojrozmerný
<i>A</i>	ampér
<i>ABS</i>	akrylonitrilbutadiénstyrén kopolymér
<i>DC</i>	jednosmerný prúd (anglicky: Direct Current)
<i>DIY</i>	urob si sám (anglicky: Do It Yourself)
<i>FDM</i>	technológia 3D tlače (anglicky: Fused Deposition Modeling)
<i>g</i>	gram
<i>Hz</i>	hertz
<i>K</i>	kelvin
<i>LCD</i>	displej z tekutých kryštálov (anglicky: Liquid Crystal Display)
<i>LED</i>	luminiscenčná dióda (anglicky: Light-Emitting Diode)
<i>lm</i>	lumen
<i>mA</i>	miliampér
<i>mcd</i>	milikandela
<i>mm</i>	milimeter
<i>mW</i>	miliwatt
<i>mN × m</i>	milinewtometer
<i>n. l.</i>	nášho letopočtu
<i>NIST</i>	Národný inštitút štandardov a technológii (anglicky: National Institute of Standards and Technology)
<i>p. n. l.</i>	pred naším letopočtom
<i>PET</i>	polyetyléntereftalát
<i>PLA</i>	polyester kyseliny polymliečnej
<i>r_p</i>	vnútorný polomer pelety

r_p+h	vonkajší polomer pelety
<i>RTC</i>	hodiny reálneho času (anglicky: real-time clock)
<i>V</i>	volt
<i>W</i>	watt
°	stupeň
€	euro

10 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

Obr. 2-1	Obrázok Gnómu, predchodca slnečných hodín [3].	14
Obr. 2-2	Obrázok vertikálnych slnečných hodín [3].	15
Obr. 2-3	Obrázok vodných hodín [3].	15
Obr. 2-4	Obrázok ohňových-sviecových hodín [2].	16
Obr. 2-5	Obrázok schémy rozdelenia hodín [1], [4].	17
Obr. 2-6	Obrázok rôznych typov hodín; (a) hodiny s analógovou stupnicou [2]; (b) hodiny s digitálnym formátom času [2].	18
Obr. 2-7	Schéma mechanizmu vytvárajúci pokojný krok [6].	18
Obr. 2-8	Schéma mechanizmu elektrických hodín [1]; (1) kyvadlo; (2) jarmo; (3) impulzné cievky; (4) kontaktné spínače; (5) zdroj.	19
Obr. 2-9	Obrázok kyvadla/“vidličky“ quartz hodín [8].	20
Obr. 2-10	Obrázok hodín využívajúcich QUARTZ mechanizmus [7]; (1) batéria; (2) elektrický motor; (3) mikročip; (4) elektrický obvod; (5) Quartz oscilátor; (6) šrób korunky; (7) (8) ozubený prevod.	20
Obr. 2-11	Obrázok rôznych typov hodín [1], [2], [4]; (a) vežové; (b) nástenné; (c) stojace; (d) orloj; (e) gravitačné.	21
Obr. 2-12	Obrázok lineárnych hodín s líniovou stupnicou [12].	22
Obr. 2-13	Obrázok lineárnych hodín s valcovou konštrukciou [11].	22
Obr. 2-14	Obrázok mechanizmu s líniovou stupnicou [12].	23
Obr. 2-15	Obrázok lineárnych hodín so svetelnou stupnicou (upravené) [14].	24
Obr. 2-16	Obrázok lineárnych hodín so zrkadlovým povrchom [13].	24
Obr. 2-17	Obrázok komerčných lineárnych hodín [17].	25
Obr. 2-18	Obrázok popisujúci fungovanie krokového motora [26].	27
Obr. 2-19	Obrázok zobrazujúci vnútorné komponenty servomotora [28].	28
Obr. 2-20	Obrázok zobrazujúci príklad natočenia servomotora pri dĺžkach pulzov [28].	28
Obr. 2-21	Obrázok spínača s pákovým mechanizmom [27].	29
Obr. 2-22	Obrázok ultrazvukového merača vzdialenosti [27].	29
Obr. 2-23	Obrázok 7-segmentového displeja [27].	31
Obr. 2-24	Obrázok mechanického jednopoložového spínača [27].	33

Obr. 4-1	Obrázok konceptu číslo 1, celkový pohľad.	36
Obr. 4-2	Obrázok konceptu číslo 1, pohľad A-A a B.	37
Obr. 4-3	Obrázok konceptu číslo 1, pohľad C.	38
Obr. 4-4	Obrázok konceptu číslo 2, celkový pohľad.	39
Obr. 4-5	Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na pohybový mechanizmus.	39
Obr. 4-6	Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na prednú stenu z vnútra.	40
Obr. 4-7	Obrázok konceptu číslo 2, pohľad na zadnú stenu z vnútra.	40
Obr. 4-8	Obrázok konceptu číslo 2, rezy A-A a B-B.	41
Obr. 4-9	Obrázok konceptu číslo 3, pohľad zvonku.	42
Obr. 4-10	Obrázok konceptu číslo 3, pohľad zvnútra.	42
Obr. 4-11	Obrázok konceptu číslo 3, pohľad rezu A-A.	43
Obr. 4-12	Obrázok konceptu číslo 3, pohľad rezu A-A.	44
Obr. 5-1	Obrázok konštrukčného riešenia.	45
Obr. 5-2	Obrázok vývojovej dosky Arduino Uno R3 [27].	46
Obr. 5-3	Obrázok RTC modulu DS 1302 [31].	47
Obr. 5-4	Obrázok zdroja pohybu; (a) krokový motor [33]; (b) modulu na ovládanie [27].	48
Obr. 5-5	Obrázok meniča napätia [33].	48
Obr. 5-6	Obrázok použitých LED diód; (a) hodinovej stupnice [33]; (b) minútovej stupnice [34].	49
Obr. 5-7	Obrázok popisujúci fungovanie konštrukčného riešenia.	50
Obr. 5-8	Obrázok rezu A-A vychádzajúci z obrázku 5-7.	50
Obr. 5-9	Obrázok zobrazujúci 3D model pohybového šróbu.	51
Obr. 5-10	Obrázok zobrazujúci návrh úchytu LED diód.	51
Obr. 5-11	Obrázok zobrazujúci spojenie prednej a zadnej časti schránky.	52
Obr. 5-12	Obrázok zobrazujúci komponenty na zadnej časti schránky.	52
Obr. 5-13	Obrázok vyznačujúci kritické miesta na pohybovom šróbe.	53
Obr. 5-14	Obrázok optimalizácie bežca; (a) pred optimalizáciou; (b) optimalizácia skosením $1 \times 45^\circ$; (c) optimalizácia zaoblením R1,5.	54
Obr. 5-15	Obrázok zobrazujúci efekt slonej nohy [35].	54

Obr. 5-16	Obrázok zobrazujúci skosenie na hranách úchytu.....	55
Obr. 5-17	Obrázok zobrazujúci technologické zaoblenia; (a) zaoblenia na prednej časti schránky; (b) zaoblenia na bežci.	55
Obr. 5-18	Obrázok zobrazujúci schému zapojenia elektrického obvodu.	58
Obr. 5-19	Obrázok zobrazujúci logickú mapu kódu.	59
Obr. 5-20	Obrázok zobrazujúci 3D model hodín z predeľ strany.....	61
Obr. 5-21	Obrázok zobrazujúci 3D model hodín zo zadnej strany.....	62
Obr. 5-22	Obrázok zobrazujúci lineárne hodiny po realizácii.	62

11 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1	Porovnanie dostupných jednodoskových počítačov značky Arduino a Raspberry Pi [18], [19], [20], [21], [22], [23].	26
Tab. 2-2	Porovnanie klasických žiaroviek a LED diód [27], [29].	30
Tab. 2-3	Variety dostupných 7-segmentových displejov červenej farby s maximálnym prúdom na segment 30 mA [27].	32
Tab. 5-1	Tabuľka použitých nastavení pri 3D tlači.	56
Tab. 5-2	Tabuľka doby tlače, hmotnosti a odhadnutej ceny tlačených súčastí.	60
Tab. 5-3	Tabuľka ceny elektronických komponentov a tlačených súčastí.	61

12 ZOZNAM PRÍLOH

12.1 Výkresová dokumentácia

Príloha 1:	BP-2021-I-10	ÚCHYT MOTORA
Príloha 2:	BP-2021-I-13	ÚCHYT POH. ŠRÓBU
Príloha 3:	BP-2021-I-23	ÚCHYT OP
Príloha 4:	BP-2021-I	LINEÁRNE HODINY

12.2 Ostatné

Príloha 5:	Riadiaci softvér lineárnych hodín
------------	-----------------------------------